NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

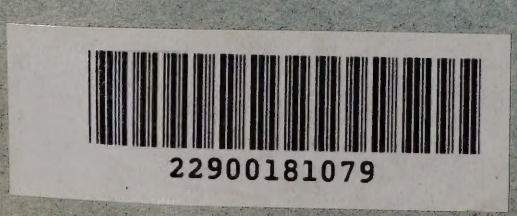
DE

M. Th. SCHLŒSING FILS.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1903

M
10749


22900181079

WELLCOME
LIBRARY
General Collections
M
10749

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Th. SCHLŒSING FILS.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1903

311223 / 28767

WELLCOME HISTORICAL MEDICAL LIBRARY

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. welMOmec
Call No.

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Th. SCHLOESING fils.

RÉSUMÉ.

Les recherches mentionnées dans cette Notice sont groupées, selon leur objet, sous les quatre titres suivants :

I. Recherches concernant le développement des plantes;

II. Recherches concernant les sols agricoles et leurs rapports avec la végétation;

III. Recherches concernant la décomposition des matières végétales et quelques cas de fermentation;

IV. Recherches diverses.

Je résumerai brièvement les principaux articles de ces différents Chapitres.

I. Le premier présente tout d'abord les expériences que j'ai faites,

avec la collaboration de M. Em. Laurent, sur la fixation de l'azote libre par les plantes. La question de savoir si les plantes empruntaient de l'azote libre à l'air a été longtemps débattue. Elle paraissait tranchée dans le sens de la négative, quand Hellriegel et Wilfarth démontrèrent que les Légumineuses pouvaient, sans aucun doute, prélever de l'azote sur l'atmosphère, avec le concours de bactéroïdes se développant sur leurs racines. Mais il y a dans l'air, à côté d'azote libre, des composés azotés qu'on savait assimilables aux plantes, et, en bonne logique, Hellriegel et Wilfarth ne prouvaient pas que le prélèvement d'azote qu'ils avaient observé se fût opéré plutôt sur l'azote libre que sur ses composés; pour bien des juges de haute compétence, la question de la fixation de l'azote *libre* restait ouverte. M. Duclaux nous engagea à l'étudier par une méthode nouvelle, devant conduire à une conclusion définitive. Elle consistait à faire vivre les plantes en vase clos, à mesurer au début et à la fin le volume de l'azote libre mis en leur présence; s'il y avait fixation, le volume diminuerait. A cette méthode fut jointe celle qui reposait sur l'analyse des plantes et des sols; elle permettrait, au cas d'une fixation, de retrouver dans les plantes l'azote fixé. Nous avons eu la bonne fortune de mener jusqu'au bout cette entreprise délicate, d'établir que l'azote emprunté à l'air par les Légumineuses était bien pris sur l'azote libre, et ainsi de donner la première démonstration sans réplique de l'intervention de l'azote libre dans la vie.

Au cours de nos expériences, nous avons reconnu qu'il y avait des Algues jouissant, elles aussi, de la faculté d'absorber de l'azote libre. Étant donnée leur universelle diffusion, ces Algues, dont les débris enrichissent le sol, apparaissaient dès lors comme un important intermédiaire dans la circulation de l'azote entre l'atmosphère et les récoltes.

En possession des méthodes et des appareils institués pour les expériences précédentes, j'ai pu étudier les échanges d'acide carbonique et d'oxygène que les plantes entières effectuent avec l'atmosphère durant une longue période de leur existence, étude qu'on n'avait pas encore abordée directement. J'ai montré l'influence exercée sur ces échanges par la nature des dissolutions minérales dans lesquelles les plantes plongent leurs racines; par là est établi dans la synthèse végé-

tale un lien de plus entre la matière organique et la matière inorganique, trop souvent considérées indépendamment l'une de l'autre. J'ai fait voir, en outre, que, dans leur ensemble, les plantes dégagent, en volume, plus d'oxygène qu'elles n'absorbent d'acide carbonique; ce qui est une condition nécessaire pour le balancement entre les échanges gazeux produits par la matière végétale qui se construit et les échanges inverses qu'elle entraîne en se décomposant et, par suite, une condition pour le maintien de la composition de notre atmosphère.

Dès que l'argon a été découvert, je me suis proposé de savoir s'il exerçait une influence sur la végétation. J'ai dû tout d'abord instituer un procédé précis de dosage du nouvel élément et déterminer avec rigueur sa proportion dans l'air; ce qui m'a incidemment donné l'occasion de reconnaître qu'il y était uniformément réparti en tout pays et à toute altitude jusqu'à 15000^{m} au moins. Je n'ai pas aperçu qu'il jouât un rôle dans la végétation.

II. Les sols agricoles ont été l'objet de plusieurs de mes recherches. La composition des atmosphères qu'ils renferment règle divers phénomènes qui influent grandement sur le développement des plantes. Je l'ai étudiée assez longuement. J'y ai employé des appareils nouveaux, simples et portatifs, permettant de multiplier les expériences et de les mettre à l'abri des reproches qu'on pouvait adresser à celles de Boussingault et Lévy sur le même sujet. Le résultat d'ensemble de ces recherches est que les nappes gazeuses des sols agricoles, extrêmement variables dans leur composition selon diverses circonstances que j'ai déterminées, et toujours largement pourvues d'oxygène, sont, non pas confinées, mais mobiles et susceptibles de se renouveler, parfois en peu de temps. Ce renouvellement assure l'approvisionnement en oxygène nécessaire aux racines dans les parties profondes des sous-sols.

A propos de l'absorption de l'acide phosphorique par les racines, j'ai entrepris une série de recherches touchant les rapports des sols avec l'eau et les plantes, recherches qui ont conduit à des notions sur la nutrition auxquelles on a prêté quelque attention.

Il y a, dans l'eau qui imprègne la couche arable d'un hectare, une quantité minime d'acide phosphorique dissous, qui ne compte pas

devant les besoins d'une récolte. On l'a donc négligée et l'on a admis que les racines s'alimentaient en acide phosphorique à peu près exclusivement aux dépens des phosphates non dissous qu'elles attaquaient directement. Il est bien vrai qu'à un moment donné cette quantité d'acide phosphorique dissous n'est presque rien. Mais, regardant les choses de près, j'ai vu qu'elle se renouvelait incessamment. Mes expériences ont, en effet, établi les faits suivants. Il existe, dans la dissolution que chaque sol renferme, un titre à peu près constant d'acide phosphorique. Ce titre est indépendant de la quantité d'eau qui constitue l'humidité, très variable, du sol; ce qui conduit d'ailleurs à un procédé simple pour le déterminer dans un sol quelconque sur un très faible échantillon. Dans une terre en place, en vertu d'un équilibre entre des actions chimiques complexes, il tend sans cesse à se maintenir; si une cause quelconque, telle que l'absorption par une racine, l'abaisse, les réserves du sol en phosphates solubles agissent pour le rétablir. Dès lors, on n'a plus le droit de penser que l'acide phosphorique dissous est à négliger et l'on entrevoit qu'il puisse contribuer notablement à l'alimentation des plantes.

Les réserves du sol sont-elles suffisantes pour autoriser une pareille conception? Je les ai évaluées en les extrayant par l'action répétée de l'eau et j'ai trouvé que, dans des sols de bonne fertilité moyenne, elles pourraient, à elles seules, subvenir aux exigences en acide phosphorique d'assez nombreuses récoltes. De plus, ces réserves de phosphates solubles s'entretiennent en quelque manière par un travail spontané des sols humides; elles s'entretiennent surtout par les engrais.

Ainsi l'utilité de l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol devenait de plus en plus probable dans le développement des plantes. Il fallait en avoir une preuve directe. J'ai voulu savoir si les plantes pourraient s'alimenter réellement en phosphore aux dépens de solutions présentant l'acide phosphorique aux doses infimes qui se rencontrent dans les dissolutions du sol. J'ai cultivé du blé, des sarrasins, des haricots, des maïs sur des sols inertes de sable quartzeux, en leur offrant comme unique source de phosphore des solutions ne contenant que $0^{mg},5$ à 2^{mg} d'acide phosphorique par litre. Quand les solutions ont été données en quantité suffisante, les plantes ont pris

un très beau développement, ont parcouru tout le cycle de leur végétation et produit un poids convenable de graines; j'ai obtenu notamment des maïs de plus de 3^{m} de hauteur.

Enfin, j'ai expérimenté sur des sols naturels. J'y ai cultivé des maïs. Une analyse minutieuse a fait voir que le phosphore existant dans le tissu des plantes récoltées provenait pour une large part, pour la moitié ou même les neuf dixièmes, des phosphates dissous que les sols avaient peu à peu cédés aux racines.

Cette suite d'expériences, s'enchaînant et se contrôlant mutuellement, ne paraît laisser subsister aucun doute quant à l'importance du rôle joué dans la nutrition des plantes par l'acide phosphorique dissous.

J'ai fait des observations analogues en ce qui concerne la potasse; elle est, elle aussi, à tout moment extrêmement rare dans les dissolutions du sol ; comme l'acide phosphorique, elle peut venir aux plantes par l'intermédiaire de l'eau, qui la transporte lentement mais d'une manière continue, la prenant à petites doses aux réserves non dissoutes du sol pour l'offrir aux racines et arrivant ainsi, au bout d'une saison, à la fournir en quantité suffisante.

La conclusion de toutes ces expériences est d'abord que les plantes sont capables de se nourrir de principes n'existant dans les dissolutions qu'à des titres de l'ordre des millionièmes, des cent-millionièmes et sans doute d'un ordre moindre encore ; ensuite qu'il faut donner au mot *soluble* une très grande extension et considérer comme doués d'une solubilité suffisante pour être mis à profit par les plantes des corps qu'on jugeait insolubles et inutiles; enfin que ces substances d'une solubilité infime sont désormais à compter comme éléments de la fertilité.

Je signalerai encore un autre travail ayant trait à l'acide phosphorique des sols. J'ai étudié de près l'action de l'acide azotique, toujours très étendu mais de force croissante, sur les sols en ce qui concerne la quantité d'acide phosphorique qu'elle fait passer en dissolution. J'ai reconnu que, si l'on augmente peu à peu le titre de la liqueur d'attaque, la quantité d'acide phosphorique solubilisé croît d'abord, puis s'arrête à un taux constant, pour continuer ensuite à s'élever. Sur la courbe représentant les variations du titre en acide phospho-

rique, on observe donc un palier. Ce palier est, pour les différentes terres, compris entre les mêmes valeurs de l'acidité finale de la liqueur, correspondant d'un côté à $\frac{1}{10000}$ ou $\frac{2}{10000}$ et de l'autre à $\frac{1}{1000}$ d'acide azotique libre. Il sépare nettement les phosphates du sol en deux catégories distinctes, attaquables ou non par l'acide azotique à $\frac{1}{10000}$ ou $\frac{2}{10000}$. J'avais fait prévoir que les plus attaquables seraient particulièrement utiles à la végétation. Cette manière de voir a été pleinement confirmée peu après par M. A. de Sigmond ; il a montré par des essais de culture qu'on peut se fonder sur la distinction et le dosage des phosphates de la catégorie la plus attaquable pour résoudre la question, jusqu'ici mal tranchée, de savoir si une terre a ou non besoin d'engrais phosphaté. C'est là une importante utilisation de mes résultats, qui est d'ordre pratique et subsiste en dehors de toute vue spéciale sur l'assimilation.

III. Les matières végétales humides et entassées en grande masse subissent une décomposition plus ou moins active ; elles s'échauffent peu à peu et arrivent parfois à prendre feu. Il se passe dans ces matières une combustion microbienne et une combustion purement chimique. J'ai étudié, en différents cas, la part de chacune suivant la température ; quand celle-ci s'élève assez pour que la vie ne soit plus possible, les microbes ont eu pour fonction d'amorcer les réactions et de les porter au point où elles s'entretiennent et s'exaltent d'elles-mêmes.

Diverses expériences sur d'autres phénomènes microbiens, la nitrification, les fermentations en milieux solides, m'ont permis de préciser certaines conditions de ces phénomènes.

IV. L'étude de la décomposition des matières végétales m'a conduit à celle du grisou, l'un des produits de leur transformation en houille. J'ai déterminé avec soin la composition des diverses sortes de grisou tirées des mines françaises. J'y ai reconnu la présence constante de l'argon, et la proportion de ce gaz par rapport à l'azote m'a montré que ce dernier devait provenir non, ainsi qu'on l'avait dit, de la décomposition de la matière végétale, mais essentiellement de l'atmosphère ; l'argon était pour la première fois présenté comme un témoin

de l'origine de l'azote. Ce même argon accompagne l'azote en bien d'autres milieux, dans la vessie natatoire de poissons vivant par les grands fonds, comme dans le sang des animaux de la surface.

En vue de l'exécution des diverses recherches qui viennent d'être rappelées et d'autres encore auxquelles mes fonctions m'ont naturellement amené, j'ai dû instituer un certain nombre de procédés et d'appareils nouveaux qui, probablement, présentent quelque intérêt. Ils n'ont pas tous été décrits dans des Mémoires détaillés ; mais j'ai eu l'occasion d'en donner connaissance dans le Cours que je fais depuis bientôt huit ans au Conservatoire des Arts et Métiers.

En lisant les pages qui vont suivre, on voudra peut-être remarquer, dans les méthodes et les expériences qui y sont présentées, un souci particulier de la rigueur et de la précision, la préférence donnée aux démonstrations les plus directes et l'emploi fréquent des vérifications. Ces habitudes ne sont pas sans entraîner pour l'expérimentateur un surcroît de peine; mais elles conduisent à des résultats plus sûrs; il arrive aussi parfois qu'elles permettent de saisir un fait qui aurait échappé à un travail moins serré.

I.

RECHERCHES CONCERNANT LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES.

Recherches sur la fixation de l'azote libre par les plantes.

En commun avec M. Em. Laurent.

Comptes rendus, 1890, 1891 et 1892.

Annales de l'Institut Pasteur, 1892 et 1893.

A la suite de très remarquables travaux, Hellriegel et Wilfarth avaient montré définitivement que les Légumineuses possédaient la précieuse faculté de puiser des quantités d'azote souvent considérables à une source située dans l'atmosphère. C'était là un résultat capital tant au point de vue de la nutrition végétale qu'à celui de la pratique agricole. De plus, Hellriegel et Wilfarth avaient établi que l'absorption d'azote avait lieu sous l'influence d'êtres microscopiques vivant sur les racines des Légumineuses et y produisant ces nodosités particulières, bien connues des botanistes. Ils admirent que l'azote ainsi fixé était emprunté à l'azote *libre* et non pas aux combinaisons azotées de l'atmosphère. Mais sur ce point important il était légitime de conserver des doutes.

Les recherches de Hellriegel et Wilfarth, comme celles de leurs devanciers, reposaient sur la comparaison des quantités d'azote renfermées par les graines, les récoltes et les sols pris au début et à la fin des expériences. Cette méthode, inaugurée par Boussingault, permet bien de constater avec certaines plantes un gain d'azote prélevé en

dehors du sol et des graines; mais, quant à l'origine même de l'azote gagné, elle est impuissante à la prouver positivement. Elle ne montre pas si cet azote a été emprunté aux composés azotés ou à l'azote libre de l'air. Le raisonnement qui s'appuie sur la rareté de ces composés pour conclure à leur insuffisance comme source d'azote, est, pour des expériences faites en présence d'une quantité d'air illimitée, sans aucune force. D'ailleurs, tous les composés azotés de l'atmosphère ne sont peut-être pas déterminés. Celle-ci pourrait contenir, par exemple, $\frac{1}{10000}$ de protoxyde d'azote, sans qu'aucun analyste ne l'eût aperçu. Les Légumineuses eussent été douées de la faculté spéciale d'absorber l'azote de ce composé et non l'azote libre, que toutes les expériences de Hellriegel et Wilfarth (sauf une peut-être, faite en vase à peu près clos) ne l'eussent pas révélé.

Cette manière de voir était d'une sévérité nécessaire. La découverte ultérieure de nouveaux gaz, existant dans l'atmosphère à dose relativement élevée, est venue la justifier singulièrement, en prouvant qu'en réalité cette atmosphère n'était pas si parfaitement connue qu'on pensait.

Il restait donc encore, après tous les travaux faits, à tenter une démonstration rigoureuse et décisive de l'origine de l'azote fixé par les Légumineuses.

C'est en vue d'arriver enfin à une telle démonstration que, sur le conseil de M. Duclaux et avec la collaboration de M. Em. Laurent, les recherches qu'on va voir ont été entreprises.

Méthodes suivies. — Les méthodes suivies présentent ici un intérêt majeur; il est utile d'y insister.

Il nous a paru qu'il fallait faire pousser des Légumineuses dans les conditions où elles passaient pour fixer l'azote libre et constater cette fixation par la mesure, avant et après culture, du volume même de l'azote en présence duquel elles se seraient développées.

Mais ce n'est pas tout. Si la fixation avait lieu, serait-elle due aux plantes ou aux sols qui les auraient portées? Des expériences témoins permettraient d'en décider : à côté des sols avec plantes on aurait, dans des conditions identiques, les mêmes sols sans culture, et l'on verrait, toujours par la mesure de l'azote libre mis en contact avec

eux, si ces sols nus auraient fixé du gaz azote; dans le cas de la négative, on serait en droit d'attribuer aux plantes la fixation.

Enfin, pour ajouter encore à la force démonstrative de nos essais, nous avons recouru, non seulement à la mesure de l'azote libre, mais aussi, en même temps, à la méthode en usage d'ordinaire, rendue aussi précise que possible, consistant à doser l'azote, avant culture, dans les sols et les graines et, après culture, dans les sols et les plantes.

Les deux méthodes devraient s'accorder rigoureusement dans leurs résultats; la seconde permettrait de retrouver dans les plantes, à l'état combiné, l'azote dont on aurait, par la première, constaté la disparition à l'état libre. Tout en se vérifiant réciproquement, elles conserveraient chacune son utilité propre : la seconde montrerait si les plantes avaient fixé de l'azote; la première, d'où viendrait véritablement l'azote fixé.

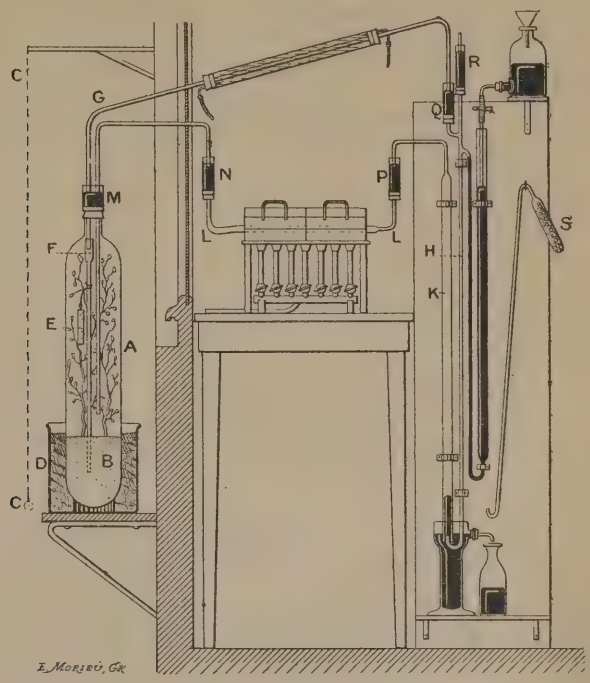
Appareils. — On aperçoit les difficultés spéciales qui se rencontrent dans l'exécution de la première méthode. Il faut faire vivre et se développer convenablement des plantes en vase clos, problème jugé malaisé par bien des physiologistes. Si l'on veut saisir avec précision la variation de l'azote libre, on est conduit à réduire le volume de l'atmosphère mise en rapport avec les plantes; dès lors, on ne peut ni introduire au début dans les appareils tout l'acide carbonique qui sera nécessaire à la végétation, ni y laisser dans la suite tout l'oxygène qui se produira par l'accomplissement de la fonction chlorophyllienne. Il faut donc pourvoir à l'obligation de fournir peu à peu le premier gaz et d'absorber le second de temps en temps dans la mesure voulue.

D'autre part, on ne peut guère abaisser la capacité des appareils au-dessous de 5^{lit} à 10^{lit}, si l'on veut laisser aux plantes la faculté d'acquérir le développement désirable; par suite, pour apercevoir une variation de quelques centimètres cubes dans le volume de l'azote, il est indispensable d'arriver à des moyens de mesure d'une haute précision.

Pour satisfaire à ces nombreuses conditions, nous avons été conduits à instituer tout un ensemble de dispositifs et de procédés entièrement nouveaux, qui ont trait à la forme et à l'arrangement général des

appareils, à l'introduction et à la circulation des gaz, à leur extraction par le vide, à leur mesure rigoureuse, à leur préparation, à leur analyse (les détails sont donnés sur ces différents sujets dans notre premier Mémoire des *Annales de l'Institut Pasteur*, rappelé plus haut). La figure ci-contre (*fig.* 1) représente la partie essentielle des appareils,

Fig. 1.



A grande allonge en verre, où les plantes se développent; elle est placée en dehors du laboratoire.

B sol humide, contenant une réserve suffisante de solution nutritive convenable, ce qui dispense des arrosages; la dose d'eau ne dépasse pas celle que le sol est capable de tenir en suspension, en sorte que ce dernier sera bien aéré et que l'eau, répandue en couche mince sur les éléments du sol, abandonnera sans aucune difficulté les gaz dissous, lorsqu'on fera le vide.

CC voile léger qu'on abaisse, quand il y a lieu, devant l'allonge pour protéger les plantes contre une trop grande ardeur du soleil.

D cylindre métallique qu'on peut remplir d'eau tiède pour porter le sol à 25°-30° quand on fait le vide dans l'appareil; au cours de la végétation, il contient de la terre toujours humide, qui s'oppose à un trop fort échauffement du sol interne sous l'influence du soleil. Ce sol étant maintenu relativement frais, l'atmosphère, généralement plus chaude, de l'allonge n'est pas saturée, condition ordinaire où se trouvent les cultures à l'air libre.

E bâton de soufre destiné à absorber la vapeur mercurielle apportée par les gaz.

F entonnoir conduisant à l'intérieur du sol les gouttes d'eau qui tombent du tube G quand on fait le vide; il empêche ces gouttes de bouleverser les graines semées et, dans certaines expériences, la mince couche de sable stérile étalée sur le sol.

G tube traversant un réfrigérant où l'on envoie de l'eau fraîche, lorsque, faisant le vide, on touche à la fin de l'opération.

H trompe à mercure; quand elle fonctionne, les gaz circulent dans l'appareil, suivant le trajet AGHKLA.

K tube coiffant l'orifice inférieur de la trompe.

LL tube de Bohême contenant de la planure de cuivre et pouvant être porté au rouge.

M, N, P, Q, R bouchon et joints noyés dans du mercure. R est le joint par lequel on fait le vide et l'on introduit les gaz au début d'une expérience. Moyennant certains tours de main, on peut ouvrir et fermer ce joint et le mettre en communication avec divers appareils, sans laisser pénétrer une trace d'air extérieur ni perdre une trace des gaz mesurés. (Ces simples joints, parfaitement étanches et établissant des liaisons souples entre les diverses parties des appareils, m'ont rendu les meilleurs services en beaucoup de cas. Il y a plus d'une étude que, sans eux, je n'aurais pas songé à aborder.)

S cornue à bicarbonate de sodium, pour la préparation d'anhydride carbonique pur; ce gaz est introduit, quand il convient, par le bas du tube K.

celle où s'opérait la culture. Le reste (pompe à mercure, absorbeur d'acide carbonique, dispositifs pour le transvasement des grands et petits volumes gazeux, volumètre, procédés de lecture et de correction par abaques, etc.), quoique concourant pour une bonne part à l'exécution et au succès d'expériences telles que celles dont il s'agit, demanderait trop d'explications pour être décrit ici.

Exécution d'une expérience. — La marche d'une expérience est celle-ci. On sème les graines dans le sol; on adapte l'allonge au reste de l'appareil; on fait le vide rapidement et aussi parfaitement que possible, en s'aidant, à la fin, pour enlever les dernières traces d'azote, de purges à l'acide carbonique et à la vapeur d'eau vers 25° ou 30°. On introduit de l'oxygène pur, puis de l'azote pur (azote atmosphérique), ce dernier gaz ayant été mesuré avec la plus grande précision; il serait plus simple d'introduire de l'air bien mesuré et d'en déduire l'azote; mais en donnant séparément l'oxygène et l'azote, on évite la petite erreur pouvant résulter de l'incertitude relative à la composition de l'air. La végétation a lieu. Pour l'entretenir, on fait passer de l'acide carbonique dans l'appareil. On analyse fréquemment l'atmosphère interne. Quand l'acide carbonique manque, on en donne; quand l'oxygène s'élève à un taux trop fort, on en absorbe une partie, en faisant, avec la trompe, circuler les gaz sur du cuivre, chauffé au rouge pour la circonstance. Finalement, on fait le vide. L'azote extrait

est séparé des autres gaz et mesuré, à l'état libre, dans le même volumètre qu'au début; on est ainsi dans les meilleures conditions pour en saisir les moindres variations. D'autre part, on analyse sols, graines et plantes, pour appliquer, ainsi qu'on l'a dit, la seconde méthode.

Cet ensemble de dispositifs et de procédés, en dehors des résultats auxquels il a permis d'atteindre et qui vont être présentés, paraît constituer dans notre travail une part de quelque importance et méritait d'être signalé. Il représente une véritable méthode d'expérimentation susceptible d'être appliquée à bien d'autres recherches physiologiques que celles dont il s'agit actuellement.

Expériences de 1890, sur des Légumineuses (*Comptes rendus*, 17 novembre 1890). — Nos premières expériences, exécutées en 1890, portèrent sur des Légumineuses (Pois nains). Les sols employés consistaient en sable quartzeux, imbibé d'une solution nutritive sans azote et stérilisé par la chaleur. Les graines semées furent arrosées avec quelques gouttes de liquide contenant en suspension des microbes de nodosités.

A la fin, la mesure de l'azote libre fit reconnaître, dans les atmosphères où les plantes avaient vécu, une disparition de $29^{cm^3},1$ ou $36^{mg},5$ de ce gaz pour l'une des expériences et de $25^{cm^3},9$ ou $32^{mg},5$ pour l'autre. Cet azote disparu fut, par la seconde méthode, aux erreurs permises près, retrouvé dans les plantes à l'état de combinaison. D'ailleurs un sol témoin sans culture n'avait pas fixé d'azote.

Les Pois avaient donc bien prélevé 32^{mg} ou 36^{mg} environ d'azote, c'est-à-dire une quantité tout à fait supérieure aux erreurs d'expérience, sur l'azote libre de l'air.

La preuve de la fixation de l'azote libre était faite.

Expériences de 1891, sur des Légumineuses et sur des plantes d'autres familles (*Comptes rendus*, 30 novembre 1891). — Nos études ont été étendues, en 1891, à des plantes représentant, à côté des Légumineuses, des familles botaniques différentes.

Les dispositions ont été les mêmes que l'année précédente, si ce n'est pour le sol. Au lieu de sable quartzeux, nous avons pris une terre

naturelle, à laquelle nous avons ajouté un peu de délayure de plusieurs autres terres; cela, en vue d'introduire les microbes, s'il en existait, susceptibles de produire la fixation d'azote chez les plantes non légumineuses.

Une première série d'expériences fit trouver, avec toutes les plantes, une notable fixation d'azote libre, mise hors de doute par la concordance des deux méthodes. Mais nous remarquâmes d'abord que, dans des expériences témoins, où les sols n'avaient reçu aucune graine, une fixation d'azote s'était produite, et, de plus, que tous les sols, compris les témoins, s'étaient recouverts, d'une façon plus ou moins complète, de plantes vertes inférieures. Enfin, ayant séparé la couche d'Algues d'une des expériences, nous y retrouvâmes tout l'azote fixé. Etaient-ce donc ces plantes inférieures, ces Algues, auxquelles il faudrait attribuer la fixation?

Une deuxième série d'expériences fut entreprise, dans laquelle on s'efforça d'éviter le développement des Algues; on y réussit par un artifice très simple, consistant à recouvrir la surface des sols, après l'enfouissement des graines et l'arrosage avec la délayure des terres, d'une couche de quelques millimètres de sable quartzeux calciné, ayant pour effet de protéger les sols contre la lumière sans apporter d'Algues. Dès lors, aucune trace d'Algues n'apparut, et, sauf pour les Légumineuses, on n'observa plus d'absorption d'azote, ni par les plantes cultivées, Avoine, Moutarde, Cresson, Spergule, ni par les sols témoins. C'étaient donc bien les plantes inférieures qui avaient fixé l'azote dans la première série.

Expériences de 1892 : 1° *Expériences sur diverses plantes supérieures* (*Comptes rendus*, 31 octobre 1892). — Nous avons confirmé nos résultats antérieurs en nous appliquant à obtenir des plantes plus développées (Avoine, Colza, mélange de Graminées, Pommes de terre).

2° *Plantes inférieures* (*Comptes rendus*, 7 novembre 1892). — Nous avons institué des cultures spéciales d'Algues diverses. Ayant toujours en vue de nous rapprocher des conditions naturelles, nous avons semé ces Algues sur les sols d'expérience en nous efforçant de produire celles qui sont le plus communes dans les champs. Nous avons ainsi

constaté, toujours par l'emploi des deux méthodes déjà décrites, que, dans plusieurs cas, d'importantes fixations d'azote libre s'étaient accomplies. Elles atteignaient des poids correspondant à une cinquantaine de kilogrammes d'azote absorbé par hectare et par an.

M. Bornet, qui a bien voulu déterminer les Algues venues, les a reconnues principalement pour des *Nostocs*. Mais nos cultures n'étaient pas pures et nous avons émis l'hypothèse que peut-être la fixation d'azote était le fruit du concours de plusieurs êtres. Les travaux effectués depuis lors par divers savants paraissent bien avoir établi l'exactitude de cette hypothèse. Quoi qu'il en soit de l'utilité du concours de plusieurs êtres, il est réalisé dans la nature, et la fixation de l'azote libre par les Algues peut dès lors s'y opérer dans une mesure très large.

Conclusions. — De tout ce qui précède, nous avons tiré les conclusions suivantes :

1° Les Légumineuses sont réellement capables d'emprunter à l'atmosphère de l'azote à l'état *libre*. Cette conclusion, déjà énoncée par G. Ville, par Hellriegel et Wilfarth, trouvait dans nos expériences une base solide qui lui manquait;

2° Il y a des Algues qui, à l'exemple des Légumineuses, jouissent de la propriété de prélever sur l'atmosphère de l'azote libre et de le faire passer dans leur propre substance;

3° Dans les conditions de nos expériences, les sols nus, c'est-à-dire exempts de toute végétation apparente, n'ont pas fixé d'azote libre en quantité mesurable; l'Avoine, la Moutarde, le Cresson, la Spergule, le Colza, la Pomme de terre et diverses Graminées n'en ont pas fixé davantage, alors que, dans des conditions identiques, les Pois en fixaient abondamment.

Le fait de la fixation de l'azote par des Algues présente un intérêt qui n'échappera pas. Lorsqu'on songe à l'universelle diffusion de ces plantes sur la surface des sols, leur faculté d'absorber de l'azote libre apparaît comme devant tenir une place importante dans les faits agricoles. Dans ses recherches sur les assolements, Boussingault a montré qu'il pouvait y avoir sur un domaine, même en dehors de toute culture

de Légumineuses, excédent d'azote à la fin d'une rotation. MM. Lawes et Gilbert et M. Dehérain ont observé la même chose pour les prairies. Il faut vraisemblablement compter les Algues comme ayant une part considérable dans la production de cet excédent d'azote.

MM. Berthelot et André, MM. A. Gautier et Drouin, avaient déjà signalé la présence d'Algues dans des expériences sur la fixation de l'azote par les sols ou les Légumineuses. Des expériences de MM. A. Gautier et Drouin tout spécialement et de celles de B. Franck on pouvait déduire qu'il y avait des Algues possédant la faculté d'absorber de l'azote emprunté à l'atmosphère sous une forme ou sous une autre. Nos méthodes nous ont permis de mettre cette faculté hors de doute et de montrer avec rigueur que la véritable source de l'azote fixé était l'azote *libre* de l'air.

Pour donner une idée du degré d'intérêt et de nouveauté que nos expériences parurent présenter à l'un des meilleurs juges, il me sera sans doute permis de citer le fait suivant. En 1892; M. Dehérain a publié une nouvelle édition de son important *Traité de Chimie agricole*, édition dans le corps de laquelle il exposait les différentes expériences faites sur la question de la fixation de l'azote. Au moment où l'Ouvrage allait paraître, il eut connaissance de nos recherches et nous fit l'honneur d'ajouter un Appendice à son Livre pour rendre compte de nos méthodes et de nos résultats.

Sur les échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes et l'atmosphère.

Comptes rendus, 21 nov. et 5 déc. 1892; 27 nov. et 4 déc. 1893; 29 oct. 1900; *Annales agronomiques*, 1893.

De nombreuses recherches ont été faites sur les échanges d'acide carbonique et d'oxygène ayant lieu entre les plantes vertes et l'atmosphère. On connaît, en particulier, celles de Boussingault, celles de MM. Dehérain et Moissan, Dehérain et Maquenne; celles de MM. Bonnier et Mangin ont présenté une importance toute spéciale.

Je me suis proposé d'étudier les échanges dont il s'agit dans des

conditions nouvelles, de manière à pouvoir répondre à une question que les recherches précédentes n'avaient pas visée et qui m'a paru intéresser vivement la nutrition végétale et, en même temps, la Physique du globe : quelle est, pour une plante entière et pour la plus grande partie possible de son existence, la résultante des échanges d'acide carbonique et d'oxygène qu'elle effectue avec l'air ambiant? Combien d'oxygène, au total, dégage-t-elle pour un volume donné d'acide carbonique qu'elle fait disparaître?

Méthodes et Appareils. — J'ai abordé cette question par la méthode la plus directe, qui consiste à faire vivre des plantes en vases clos et à étudier les variations de l'acide carbonique et de l'oxygène enfermés avec elles.

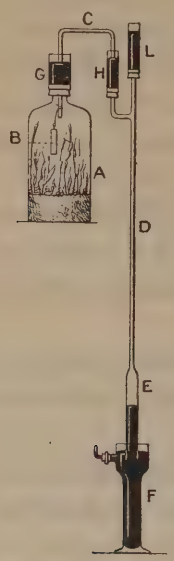
J'ai employé aux expériences des appareils analogues à ceux qui ont été indiqués plus haut à propos des études sur la fixation de l'azote libre par les plantes.

Comme dans ces études, les dispositions étaient prises pour qu'on pût surveiller journellement par l'analyse la composition de l'atmosphère interne des appareils, introduire, quand il y avait lieu, de l'acide carbonique et absorber (sur du cuivre chauffé au rouge) l'excès d'oxygène produit par la végétation; de plus, je mesurais rigoureusement tous les gaz donnés et tous ceux qui étaient retrouvés à la fin, compris l'oxygène absorbé par le cuivre, de manière à obtenir par différence l'acide carbonique total décomposé et l'oxygène total produit par la végétation. Une expérience témoin, sans culture, permettait d'éliminer l'influence, extrêmement peu sensible d'ailleurs, du sol. On arrivait en définitive à connaître avec précision toutes les modifications de l'atmosphère dues aux plantes entières pendant telle durée qu'on voulait.

Si, dans ces recherches, on emploie des récipients à culture d'une capacité suffisante par rapport au poids de matière végétale formé, l'accroissement du taux pour 100 d'oxygène produit au cours de la végétation est modéré et il n'est plus nécessaire d'absorber une partie de ce gaz. Dès lors, on peut supprimer le cuivre et arriver à une disposition très simple, que j'ai souvent utilisée et qui est applicable à diverses études sur les échanges gazeux entre un être vivant et l'atmo-

sphère ambiante. Cette disposition, représentée ci-contre (*fig.* 2), exige seulement des analyses de gaz précises, qu'on réalise avec l'eu-

Fig. 2.



A flacon ou autre récipient, pouvant résister au vide.
B soufre
CD conduit étroit.
E partie large soudée au tube vertical D.
F cuve à mercure, pouvant se déplacer entre des guides verticaux, non figurés sur le dessin. Quand on élève et abaisse verticalement, plusieurs fois de suite, cette cuve F, le mercure agit en E comme un piston et y appelle du gaz de A, sur lequel on peut prélever, pour analyse, un échantillon apprenant à un instant quelconque la composition de l'atmosphère interne.
G, H, L joints. Par L, on fait le vide quand il y a lieu et l'on introduit les gaz au début de l'expérience.

diomètre, si l'on veut saisir comme il convient les variations de composition de l'atmosphère considérée.

Vérifications. — Je me suis astreint, plusieurs fois, à vérifier les résultats de l'étude des gaz par l'analyse des plantes et des sols. Ces vérifications ont été entièrement satisfaisantes.

Résultats : 1° *Plantes supérieures.* — Opérant avec des plantes

variées (Cresson à larges feuilles, Houque laineuse, Lin commun, Moutarde blanche) ayant vécu de six à huit semaines, j'ai obtenu les résultats suivants :

1° Le rapport $\frac{CO^2 \text{ total disparu}}{O \text{ total apparu}}$ a présenté des valeurs constamment inférieures à l'unité et comprises entre 0, 75 et 0, 90;

2° On sait qu'il entre dans la composition de la matière organique d'une plante entière un poids d'hydrogène supérieur à celui qui, avec l'oxygène de cette matière, formerait de l'eau. Ce fait important a été signalé par Boussingault dès 1838. Mes résultats en rendent compte. Car, s'il sort de la plante plus d'oxygène qu'il n'en entre avec l'acide carbonique, il faut bien que cet excès d'oxygène ait une origine; l'oxygène de l'eau assimilée par la plante peut le fournir, au moins en partie; d'où l'excès d'hydrogène constaté;

3° Appliquant la méthode, laborieuse mais souvent féconde, qui consiste à tout mesurer, autant que possible, dans l'étude d'un phénomène, j'ai ajouté, pour l'une des expériences, à l'examen des gaz l'analyse complète des plantes récoltées. J'ai vu alors que l'oxygène de la matière organique des plantes dépassait celui qu'elles avaient pu gagner par leurs échanges gazeux et par l'assimilation d'eau; elles avaient dû, pour constituer leur matière organique, puiser de l'oxygène, non pas seulement dans les gaz carbonique et oxygène de l'atmosphère et dans l'eau, suivant ce qu'on indiquait d'ordinaire, mais aussi, et en proportion très notable, à une autre source. Cette source réside dans les sels oxygénés, sulfates, phosphates et surtout azotates tirés du sol. On a trop négligé ces sels jusqu'ici dans l'étude de la synthèse végétale.

2° *Algues.* — Les essais ci-dessus, répétés sur diverses Algues, que M. Bornet a pris la peine de déterminer, ont encore donné (dans des conditions où aucune fixation d'azote libre n'avait eu lieu) un rapport $\frac{CO^2}{O}$ très inférieur à l'unité (0, 77). On est donc ici en présence d'une propriété qui n'appartient pas seulement aux organismes végétaux complexes.

3° *Plantes alimentées en azote avec de l'ammoniaque.* — Dans les expériences qui viennent d'être rapportées, les plantes avaient toujours été alimentées, sous le rapport de l'azote, avec des nitrates. C'est là un mode d'alimentation très commun dans les champs cultivés. Mais, dans bien des sols (sols de forêts, de landes, de prairies, etc.), la nitrification n'a pas lieu ou n'a lieu que fort incomplètement; les nitrates sont, par suite, absents ou rares. Les échanges gazeux des plantes avec l'atmosphère en sont-ils modifiés?

J'ai examiné le cas où l'on n'offre aux plantes, comme source d'azote, qu'un sel ammoniacal. L'utilisation directe de l'ammoniaque, sans transformation préalable en nitrates, est possible, d'après les expériences bien connues de M. A. Müntz et les vérifications récentes de M. Mazé. Pour qu'elle fût réalisée ici, il a fallu, en vue d'écarter les germes de la nitrification, opérer avec des sols et des gaz stérilisés, les graines étant d'ailleurs aseptisées avant leur entrée dans les appareils. Après culture, j'ai vérifié que les précautions prises pour empêcher la nitrification avaient eu leur effet : le sol, débarrassé aseptiquement de la récolte et abandonné à lui-même durant six semaines, se montra, au bout de ce temps, exempt de nitrates, et l'azote non assimilé par les racines fut retrouvé, dans ce sol, à l'état ammoniacal.

On a vu plus haut que l'excès d'oxygène dégagé sur l'acide carbonique absorbé tient, en particulier, à la réduction des sels minéraux tirés du sol. Quand l'ammoniaque remplace comme aliment azoté l'acide azotique, on doit s'attendre à voir diminuer cet excès. C'est ce que l'expérience a montré. Elle a donné, pour le rapport $\frac{CO^2}{O}$, les valeurs 0,96 (Capucines naines) et 0,97 (Sarrasin gris argenté), alors que, toutes choses égales, sauf remplacement d'azote ammoniacal par une dose égale d'azote nitrique, les mêmes plantes donnaient respectivement 0,90 et 0,91.

Il resterait à étudier le cas où l'azote est utilisé comme aliment par les plantes à l'état libre (Légumineuses, Algues). J'ai commencé cette étude. Il est à croire qu'elle conduira à un résultat intermédiaire entre ceux des cas extrêmes déjà examinés.

Conclusions. — On voit d'une part que les échanges gazeux qui

accompagnent la formation de la matière végétale sont en relation avec la composition minérale des dissolutions au contact desquelles vivent les racines.

D'autre part, on constate que, dans les conditions de nutrition réalisées, les plantes dégagent, en volume, plus d'oxygène qu'elles n'absorbent d'acide carbonique. Leur pouvoir de purifier l'atmosphère, découvert par Priestley, est, d'après cela, encore plus grand qu'on l'avait d'abord pensé.

Par une opération inverse, elles refont, en se décomposant après leur mort, les corps originels ayant servi à les édifier. Or on sait, par l'analyse des plantes entières, que cette décomposition, qui est essentiellement une combustion, doit consommer plus d'oxygène qu'elle ne fournit d'acide carbonique. Si ces deux phénomènes contraires de la construction et de la démolition de la matière végétale se contrebalancent de manière à maintenir constante la composition de notre atmosphère, on doit trouver que, dans leur ensemble, les plantes dégagent, pendant la vie, plus d'oxygène qu'elles n'absorbent d'acide carbonique ; c'est une condition nécessaire, je ne dis pas suffisante, pour que les deux phénomènes tiennent la place qui leur revient dans l'économie du monde.

Contribution à l'étude de la germination.

Comptes rendus, 10 juin 1895.

La question particulière que j'ai voulu examiner est celle des pertes d'azote pouvant se produire, à l'état gazeux, pendant la germination. Par l'analyse comparée des graines et des plantules, on avait trouvé déjà que ces pertes ne pouvaient être que faibles. J'ai appliqué à ma recherche la méthode, si précise, qui repose sur la mesure et l'analyse des atmosphères enfermées dans les récipients où vivent et se développent les êtres étudiés, êtres qu'il fallait ici, à l'inverse de ce qu'on a vu plus haut, débarrasser du gaz carbonique produit et approvisionner en oxygène. De plus, je me suis rapproché, autant que

possible, des conditions où s'opère la germination dans les champs. C'est ainsi qu'au lieu de la prolonger artificiellement, comme on le fait souvent, de manière à empêcher pendant très longtemps la fonction assimilatrice de s'accomplir, j'ai laissé les choses suivre leur cours normal, les graines étant enfouies à leur profondeur habituelle et le sol exposé au jour, ainsi que les premiers organes aériens des plantules. J'ai vérifié, à la fin, en déterminant la migration de l'azote provenant des graines, que la germination était à très peu près parvenue à son terme. Expérimentant sur des graines de Blé et de Lupin, j'ai trouvé que leur germination n'avait pas entraîné une perte appréciable d'azote à l'état gazeux (moins de $\frac{1}{400}$ de l'azote des graines pour le Lupin.)

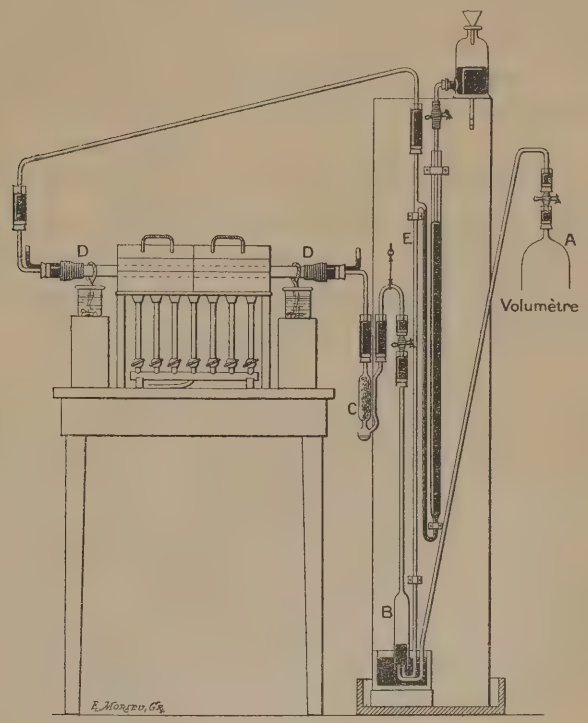
Recherches entreprises en vue de savoir si l'argon joue un rôle dans la végétation.

Je me suis proposé d'examiner si, comme la plupart des autres éléments de l'atmosphère, l'argon jouait un rôle dans la synthèse végétale. Pour arriver à ce but, toute une série de recherches m'a paru utile. Il fallait d'abord instituer un procédé de dosage très précis de l'argon, puis déterminer la teneur en argon de l'atmosphère; enfin voir, dans des expériences spéciales de culture, si les plantes mettaient à profit l'argon en présence duquel elles se développaient. Tel est aussi le programme que j'ai suivi. Je conserve au nom d'*argon* son sens primitif, qui correspond à l'argon brut, comprenant ce que M. Ramsay appelle aujourd'hui l'*argon et ses compagnons*.

Dosage de l'argon (*Comptes rendus*, 14 octobre et 28 octobre 1895). — On est assez naturellement porté à doser l'argon, vu sa rareté relative, sur de grands volumes de gaz. Mais le maniement et la mesure précise de très grands volumes gazeux entraînent des difficultés et des inconvénients que connaissent bien les analystes habitués à opérer avec les gaz. En outre, si l'on doit expérimenter sur de grands volumes gazeux, les prises et les transports des échantillons à

étudier sont fort compliqués. Il est possible d'arriver, grâce à un ensemble de dispositifs dont la figure 3 représente une partie, à de

Fig. 3.



A Volumètre d'où arrive peu à peu, quand il y a lieu, le gaz à analyser.
B Cloche mobile, pouvant coiffer l'orifice de la trompe ou se placer à côté de cet orifice.
C Tube desséchant à acide sulfurique.
DD Tube d'acier épais ou de porcelaine vernie, contenant une petite colonne de magnésium et une autre d'oxyde de cuivre et pouvant être chauffé au rouge; on vérifie qu'il tient le vide à cette température.
E Trompe à mercure. Elle permet au début d'obtenir le vide dans l'appareil, puis de faire passer plusieurs fois les gaz en DD pour absorber convenablement l'azote, et, à la fin, de transvaser l'argon dans une petite cloche à gaz ordinaire, en vue de le purifier complètement par l'étincelle en présence de l'oxygène et de la potasse.

très bons résultats en employant seulement des volumes d'air relativement faibles (1^{lit} à 1^{lit},5); de là résulte, dans l'exécution de l'analyse, l'usage d'appareils de capacité restreinte, où il devient aisé de produire le vide, aussi bien avant l'introduction qu'après l'extraction

du gaz à mesurer, ce qui constitue une ressource des plus précieuses.

On a toujours à séparer l'argon d'une grande masse d'azote auquel il est mêlé. A l'exemple de lord Rayleigh et du Professeur Ramsay, j'ai absorbé cet azote par le magnésium chauffé au rouge. Mais l'absorption n'est pas instantanée. L'une des particularités du procédé consiste en ce qu'il permet de faire repasser le mélange d'azote et d'argon sur une faible quantité de magnésium jusqu'à l'entière disparition de l'azote.

Pour obtenir finalement l'argon tout à fait pur, on le soumet dans une cloche, en présence d'oxygène et d'un peu de potasse, à l'étincelle d'une bobine d'induction pendant quelques heures; après quoi, on absorbe par le phosphore, à froid, l'oxygène restant.

Les vérifications désirables du procédé ont été faites.

Résultats du dosage de l'argon dans l'atmosphère. — Uniformité de la répartition de l'argon (*Comptes rendus*, 14 octobre 1895 et 2 novembre 1896). — Étant en mesure de doser l'argon d'une façon très précise, j'ai cherché en quelle proportion il se présentait et comment il était réparti dans le milieu avec lequel les végétaux effectuent leurs échanges gazeux, c'est-à-dire dans l'atmosphère.

J'ai d'abord analysé des échantillons prélevés à Paris ou en Normandie, tantôt au niveau du sol, tantôt à 300^{m} d'altitude; j'y ai trouvé pour 100^{vol} d'azote et argon une moyenne de $1^{vol},192$ d'argon.

Puis M. J. Richard m'a rapporté, à la suite d'une campagne de la *Princesse-Alice*, des échantillons d'air provenant de régions toutes différentes (Méditerranée, Atlantique, Açores, Manche) et pris à des hauteurs allant jusqu'à 2275^{m}; ils m'ont encore donné les mêmes chiffres. Enfin, un échantillon qui avait été prélevé par un ballon-sonde à 15000^{m} d'altitude et que M. Müntz avait bien voulu me prier d'examiner, a fourni une composition toute pareille.

On peut conclure de ces recherches que l'argon est, comme l'oxygène et l'azote, uniformément distribué dans l'atmosphère et qu'il s'y rencontre normalement, en tout lieu et à toute hauteur, à la dose de $1^{vol},192$ pour 100^{vol} d'azote et argon (ou de $0^{vol},942$ pour 100^{vol} d'air), avec une variation en plus ou en moins qui généralement n'a pas dépassé $\frac{1}{1000}$ et qui est à peu près de l'ordre des erreurs

possibles. La proportion d'argon par rapport à l'azote serait-elle tout à fait constante, il n'y aurait pas lieu de s'en étonner, étant donné que l'azote et, on va le voir, l'argon ne prennent qu'une part restreinte ou nulle aux phénomènes chimiques ou vitaux capables de modifier la composition de notre atmosphère.

L'argon et la végétation (*Comptes rendus*, 8 novembre 1897). — Quelques analyses avaient été exécutées en Angleterre sur des substances animales et végétales en vue d'y rechercher l'argon ; on ne l'y avait pas rencontré. Je n'en avais pas trouvé non plus dans des échantillons de houille. Si les végétaux et des résidus de leur décomposition étaient réellement dépourvus d'argon, on pouvait être tenté d'affirmer tout de suite qu'il n'intervenait pas dans leur synthèse. Mais, d'abord, les expériences concluant à l'absence de l'argon dans les matières d'origine végétale avaient été trop peu nombreuses; en outre, il ne manque pas de réactions auxquelles prennent part des corps qui n'entrent pas dans les produits formés ; il restait donc utile d'expérimenter sur la possibilité d'un rôle joué par l'argon atmosphérique dans la végétation.

J'ai fait pousser de l'Avoine en vase clos, au sein d'une atmosphère artificielle composée d'azote, d'oxygène et d'acide carbonique, absolument exempte d'argon. L'azote avait été tiré de l'azotate d'ammonium. Les plantes ont pris un beau développement; l'absence de l'argon n'a paru nullement leur nuire.

Dans une autre expérience, j'ai cultivé comparativement deux lots de Houque laineuse, dans des conditions qui étaient identiques, sauf sur un point, savoir que pour l'un l'atmosphère était tout à fait dépourvue d'argon, tandis que pour l'autre elle en renfermait à peu près la proportion existant dans l'air ordinaire. Afin de rendre aussi satisfaisante que possible la comparabilité des deux lots, j'ai employé pour tous les deux le même azote chimique, tiré comme plus haut de l'azotate d'ammonium, et, quant au second, j'y ai ajouté un volume déterminé d'argon pur.

Les plantes se sont bien développées dans les deux lots et sont devenues tout à fait semblables sous le rapport de l'aspect et du poids. L'influence de l'argon ne s'est pas fait sentir.

D'ailleurs, on a retrouvé dans l'atmosphère du second lot, à la fin de l'expérience, tout l'argon qui y avait été introduit au début; donc, point d'argon consommé par les plantes en quantité appréciable. De plus, on a déterminé pour les deux lots le rapport

$$\frac{CO^2 \text{ consommé par les plantes}}{O \text{ produit par les plantes}};$$

on lui a trouvé la même valeur pour l'un et l'autre lot; nouvelle preuve que les circonstances de la végétation n'y ont pas différé notablement, et que la présence ou l'absence de l'argon a été sans effet.

Ainsi, je n'ai pas aperçu que l'argon jouât un rôle dans la végétation.

II.

RECHERCHES CONCERNANT LES SOLS AGRICOLES ET LEURS RAPPORTS AVEC LA VÉGÉTATION.

Recherches sur l'atmosphère contenue dans les sols.

Comptes rendus, 14 octobre, 28 octobre 1889 et 28 octobre 1895;

Annales de Chimie et de Physique, juillet 1891.

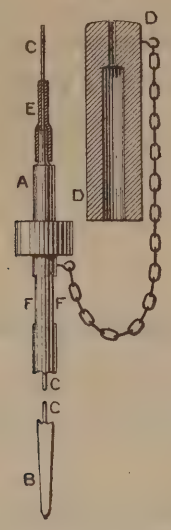
La plupart des phénomènes, d'ordre chimique ou biologique, dont le sol est le siège et qui intéressent la végétation, sont sous la dépendance de la composition des atmosphères souterraines. De là l'utilité qu'il y a à bien connaître cette composition dans les conditions naturelles.

Les recherches classiques de Boussingault et Lévy sur la question n'étaient pas sans mériter quelques critiques : l'émiettement du sol, causé par la fouille qu'ils pratiquaient pour loger le tube servant à puiser l'échantillon de gaz, était capable d'activer les combustions de matière organique et ainsi d'exagérer le taux d'acide carbonique; l'air extérieur risquait d'être appelé à travers la terre ameublie; le volume prélevé, variant de 5^{lit} à 50^{lit}, était trop grand et pouvait comprendre du gaz qui ne se trouvait pas au voisinage de l'orifice inférieur du tube et qui y était appelé d'assez loin. J'ai cherché à éviter ces reproches dans de nouveaux essais.

Il fallait prélever les échantillons de gaz sans modifier en rien la composition qu'ils présenteraient réellement à l'endroit et au moment

où ils seraient pris, n'entraîner avec eux aucune portion d'air extérieur et connaître exactement la profondeur d'où ils proviendraient. On réussit à satisfaire à cet ensemble de conditions au moyen de quelques procédés et appareils assez simples, décrits en détail dans

Fig. 4.



AB Tube d'acier long de 1^{m} ou davantage, conique sur une longueur de 25^{cm} à la partie inférieure B, ayant 10^{mm} de diamètre extérieur et 2^{mm} de diamètre intérieur.

CC Fil d'acier qu'on place à l'intérieur de AB quand on veut enfoncer le tube dans le sol et qui empêche l'obstruction de l'orifice inférieur.

DD Chapeau d'acier dont on coiffe le tube et sur lequel on frappe avec un maillet.

E Caoutchouc faisant joint entre le tube et le fil. Le tube une fois enfoncé, on retire le fil CC; on pince le caoutchouc E et l'on y place un dispositif grâce auquel on fait passer l'échantillon dans une ampoule de verre, en produisant l'aspiration voulue au moyen d'un petit réservoir à mercure qu'on déplace verticalement; l'ampoule est fermée au chalumeau.

FF Méplats qu'on engage dans une clé spéciale pour retirer le tube du sol, où il est parfois très fortement retenu.

mon Mémoire inséré aux *Annales de Chimie et de Physique*. L'organe essentiel dans ces appareils est représenté ci-contre (*fig.* 4); c'est un tube d'acier qu'on enfonce dans le sol jusqu'à la profondeur où l'on veut prendre du gaz et sur lequel on adapte ensuite un dispositif permettant l'aspiration et l'emmagasinement de l'échantillon.

Un volume de 20^{cm^3} à 25^{cm^3} de gaz suffit pour purger les conduits et

pour constituer la petite provision de gaz qu'on emporte au laboratoire et qu'on analyse à l'eudiomètre.

J'ai employé aussi un appareil qui s'adapte au même tube d'acier et permet d'exécuter les analyses sur le terrain, en peu de temps, avec une précision très généralement suffisante.

Ces expériences ont porté sur les sols les plus divers : terres de labour, de constitutions et de cultures différentes, et herbages; j'avais spécialement l'intention de voir si l'oxygène pouvait faire défaut dans des sols qui n'avaient pas été retournés depuis de longues années.

Les conclusions de mes nombreuses expériences ont été les suivantes.

L'oxygène existe normalement dans l'atmosphère des sols sains, habités par les racines, en large proportion. C'est la confirmation du résultat principal de Boussingault et Lévy.

Dans les échantillons que j'ai analysés d'une façon complète, je n'ai pas trouvé de gaz combustibles en qualité dosable à l'eudiomètre, alors même que l'oxygène était relativement peu abondant et l'acide carbonique en forte proportion; de là une certaine probabilité pour que les phénomènes de fermentation anaérobie, s'il s'en produit dans quelques points d'un sol sain, y soient au total fort restreints.

Très généralement, jusqu'à la profondeur de $0^{m},60$, l'atmosphère des terres de labour contient à peine 1 pour 100 d'acide carbonique contre 20 pour 100 d'oxygène; il y a, toutes choses égales d'ailleurs, plus d'acide carbonique dans l'atmosphère des terres qui n'ont pas été retournées depuis longtemps que dans celles qui sont périodiquement labourées.

Les maxima d'acide carbonique correspondent, pour un même sol, aux époques les plus chaudes et aux temps calmes; les diverses causes d'enrichissement de l'atmosphère interne en acide carbonique agissent alors au mieux pour fournir ces maxima.

La proportion d'acide carbonique augmente généralement avec la profondeur; ce qui est naturel, car le gaz du fond est de l'air qui a d'abord séjourné près de la surface et qui s'est altéré de plus en plus en descendant. Mais il est curieux que, dans certains cas, on observe une distribution contraire de l'acide carbonique. Le fait a été nettement constaté dans mes recherches et s'explique bien : il se produit

quand la couche superficielle, étant riche en matière organique, se trouve en même temps plus humide et plus chaude que le sous-sol. Dans de pareilles conditions, j'ai pu doser jusqu'à 9,5 pour 100 d'acide carbonique à $0^m,30$ de profondeur, tandis qu'au-dessous, à $0^m,65$, il y avait seulement 0,2 pour 100 du même gaz. Ce renversement de la répartition normale de l'acide carbonique suivant la profondeur est une preuve du renouvellement plus ou moins complet qu'éprouve de temps en temps, pour différentes causes, l'atmosphère des sols. Sans de tels renouvellements, celle-ci serait toujours plus riche en acide carbonique au fond que vers la surface et n'arriverait que bien péniblement à entretenir sa provision d'oxygène par diffusion à travers les couches supérieures.

D'une époque à l'autre, la composition de l'atmosphère d'un même sol peut subir, en un même point, des variations considérables. A un moment donné, elle peut différer très notablement entre des points peu éloignés d'une même pièce de terre, surtout sur des pentes, si ces points se trouvent à des cotes différentes.

L'ensemble des résultats a conduit à cette notion que les nappes gazeuses répandues dans les sols agricoles y sont, non pas confinées et immobiles, mais susceptibles de se déplacer; elles y cheminent plus ou moins lentement, en divers sens, sous l'influence des causes multiples qui produisent leurs incessantes variations de composition chimique (c'est-à-dire de densité), de température et de pression.

Argon. — J'ai dosé l'argon contenu par des échantillons prélevés à 20^{cm} et à 40^{cm} de profondeur dans des terres de labour, dans une terre de jardin, dans le sol d'un bois de pins; j'ai trouvé les proportions de 1,18, 1,16, 1,13, 1,18 d'argon pour 100 d'azote et argon. Or, pour l'air ordinaire, la proportion est, on l'a vu, de 1,19, chiffre dont les précédents s'écartent peu (la différence peut tenir à la dissolution, dans l'eau des sols, de l'argon, plus soluble que l'azote). S'il y avait à démontrer que l'azote de l'atmosphère des sols provient de l'air extérieur, on aurait là une preuve de cette origine.

Étude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol. Utilisation de cet acide par les plantes.

Comptes rendus, 25 juillet, 8 août et 21 novembre 1898; 13 mai 1901; 6 janvier et 6 juin 1902.

Annales de la Science Agronomique française et étrangère, 1899.

Annales du Conservatoire des Arts et Métiers, 1900.

Le phosphore est un des éléments nécessaires de la matière vivante. Il est d'un intérêt évident d'étudier les phénomènes concernant sa pénétration dans les plantes, d'où il passe ensuite dans les animaux.

On sait que l'eau qui imprègne un sol tient en dissolution une minime quantité d'acide phosphorique. Cette quantité, qui, généralement, n'atteint pas 1^{kg} pour toute l'eau renfermée dans la couche arable d'un hectare, n'est presque rien devant le contenu d'une récolte et a paru sans importance pour la nutrition végétale. D'autre part, à la suite des expériences classiques de J. Sachs et d'autres physiologistes, il a été prouvé que les racines des végétaux étaient capables d'attaquer par leurs sucs acides et d'utiliser après cette attaque les phosphates naturellement non dissous du sol, lesquels représentent un stock d'acide phosphorique infiniment supérieur à celui qui existe en dissolution. Ces deux faits, l'extrême rareté des phosphates dissous dans les eaux du sol et la propriété qu'ont les racines de mettre directement à contribution les mêmes composés non dissous, bien plus abondants que les premiers, ont conduit sans peine à admettre que ces phosphates non dissous étaient la source essentielle à laquelle les végétaux allaient puiser leur phosphore.

Je me suis demandé si cette opinion n'était pas trop exclusive et ne restreignait pas à l'excès le rôle des phosphates dissous, non pas seulement dans le cas particulier d'un sol ayant reçu un engrais phosphaté, cas sur lequel M. J. Joffre a appelé l'attention, mais dans le cas général d'un sol quelconque.

Pour élucider cette question, j'ai entrepris une série de recherches

dont les résultats forment aujourd'hui un ensemble assez complet et d'où ressortent certaines notions sur la nutrition végétale auxquelles on paraît accorder quelque intérêt. Suivant l'usage, j'emploie, afin de simplifier, les expressions d'acide phosphorique et de phosphates pour représenter divers composés existant dans les sols et contenant du phosphore, composés dont M. Berthelot a précisé la nature, parmi lesquels figurent surtout quelques phosphates communs et qu'on détermine en bloc par un dosage d'acide phosphorique.

Mes recherches ont porté d'un côté sur les dissolutions d'acide phosphorique des sols et d'un autre côté sur leur utilisation par les plantes.

Dissolution de l'acide phosphorique dans les sols. — J'ai extrait les dissolutions contenues dans divers sols au moyen de l'appareil à déplacement de M. Schlœsing, mon père, appareil permettant de les obtenir sans altération sensible. J'ai dosé l'acide phosphorique dans ces dissolutions et reconnu qu'il s'y présentait avec un taux qui, restant toujours extrêmement faible, changeait néanmoins beaucoup d'un sol à l'autre et allait, par exemple, de $0^{mg},1$ à 3^{mg} d'acide phosphorique (P^2O^5) par litre.

Mais, chose assez remarquable, pour un même sol, quand l'humidité varie, même entre des limites éloignées telles que 5 et 25 pour 100, le titre de la dissolution extraite demeure à très peu près constant. On aurait pu croire que cette dissolution serait d'autant plus pauvre que le sol renfermerait plus d'eau. Il n'en est rien. Le titre de la dissolution est indépendant de l'humidité du sol. Ce titre est une des caractéristiques d'un sol donné.

J'ai poussé plus avant. J'ai augmenté la proportion de l'eau mise en contact avec la terre et l'ai portée bien au delà de ce qu'elle peut être dans la terre la plus humide. J'ai agité dans des flacons de l'eau avec des quantités de divers sols régulièrement décroissantes et jusqu'à 5 et 10 fois inférieures au poids de l'eau. Qu'on veuille bien noter qu'alors l'eau était, par rapport aux sols, 20, 40 ou 60 fois plus abondante qu'elle ne l'est dans les sols en place. Dans tous les cas, après une agitation suffisante, elle a dissous, pour une terre donnée, la même quantité d'acide phosphorique par litre, cette quantité étant

d'ailleurs égale à celle que contenaient les dissolutions extraites par déplacement.

Je ne pense pas qu'on soit ici en présence de simples phénomènes de saturation de l'eau par des phosphates très peu solubles. On arrive, en effet, dans ces expériences, aux taux d'acide phosphorique les plus variés quand on passe d'un sol à un autre : $0^{mg},15$, $0^{mg},85$, $1^{mg},03$, $1^{mg},17$, $3^{mg},5$ par litre. S'il y avait simple saturation par l'un ou quelques-uns des phosphates, peu nombreux, du sol, on retomberait fréquemment sur les mêmes chiffres; bien plus, on aurait presque toujours le même chiffre, car chacun des phosphates ordinaires du sol doit se trouver présent, dans la plupart des cas, en quantité largement suffisante pour fournir à l'eau le poids infime d'acide qu'elle lui prend.

En réalité, la quantité d'acide phosphorique qui est dissoute dans un sol doit résulter d'un équilibre entre des actions chimiques complexes. Celles-ci tendent à relever le titre de la dissolution quand il s'abaisse; il arrive aussi qu'elles l'abaissent, quand, par suite d'une concentration, due à l'évaporation par exemple, il s'élève au-dessus de sa valeur normale. Si, dans cet équilibre, nous voyons l'eau, encore qu'on l'emploie à dose forcée, prendre toujours, avec une même terre, sensiblement le même titre en acide phosphorique, c'est que cette terre contient, on le vérifiera, des réserves relativement très grandes des différents principes intervenant dans le partage de l'acide entre elle et l'eau et que nous n'avons pas atteint jusqu'ici la limite, existant pourtant, à partir de laquelle une augmentation de l'eau entraînera une diminution du titre.

On aperçoit immédiatement une importante conséquence de ces faits. Les mêmes phénomènes se passant aux champs, l'acide phosphorique dissous est capable de se renouveler dans les eaux imprégnant une terre, à mesure que les racines le consomment; il peut, tandis qu'il disparaît d'un côté, être remplacé d'un autre. Dès lors il n'est plus permis de se fonder sur sa rareté à chaque moment pour conclure à son inutilité à l'égard de la végétation; il devient même possible qu'il contribue, pendant le cours d'une saison, à la nutrition des récoltes dans une mesure qui ne soit plus à négliger.

PROCÉDÉ POUR DÉTERMINER LE TITRE EN ACIDE PHOSPHORIQUE DE LA

DISSOLUTION EXISTANT DANS UN SOL. — Vu l'intérêt que prenait l'acide phosphorique dissous, il était bon d'instituer un procédé permettant d'en déterminer facilement le titre dans une terre. On avait bien à sa disposition le procédé par déplacement, procédé précieux, grâce auquel j'avais pu faire mes premiers essais ; mais il exige le prélèvement et le transport au laboratoire de 40^{k} de terre, un appareil spécial et des expériences durant chacune une semaine. Précisant les expériences ci-dessus, j'ai fixé, après une étude méthodique des principaux facteurs influant sur la dissolution de l'acide phosphorique, les conditions d'un procédé beaucoup plus simple : dans un flacon de $1^{lit},5$ tournant autour d'une horizontale perpendiculaire à son axe, à raison de deux tours par minute, on agite 300^{g} de terre avec 1300^{cm^3} d'une eau ordinaire calcaire, pendant 10 heures ; puis on dose l'acide phosphorique dans 1^{lit} de la dissolution claire et filtrée ; au moyen du phosphomolybdate d'ammonium, les dosages peuvent se faire sur 1^{mg}, $0^{mg},5$ ou $0^{mg},2$ d'acide phosphorique avec une précision suffisante. Ce procédé fournit artificiellement, en peu de temps et avec très peu de terre, une liqueur présentant le même titre en acide phosphorique que la dissolution qui existerait naturellement dans la terre traitée, supposée en place.

Dans cette étude, j'ai dû examiner l'influence de l'acide carbonique dissous par l'eau sur l'attaque des phosphates. On la dit communément considérable et on l'invoque souvent. J'ai constaté que, dans une terre, cette influence est nulle quand, ce qui est le cas le plus fréquent, l'acide carbonique se rencontre au sein de l'eau avec la dose de bicarbonate de chaux correspondant à sa tension, de telle manière que l'eau ne puisse pas dissoudre une plus grande quantité de ce sel. Quand l'acide carbonique n'est pas accompagné de cette dose de bicarbonate, son action sur la dissolution des phosphates, nulle encore dans certains sols, devient sensible dans d'autres, mais n'est pas si forte qu'elle fasse passer dans l'eau plus de quelques milligrammes d'acide phosphorique par litre. Dans des expériences précises il faut pourtant en tenir compte, et c'est pourquoi il est indiqué, pour l'exécution du procédé ci-dessus, de faire usage non d'eau distillée, qui, comme on sait, renferme en général de l'acide carbonique en dissolution et pourrait ainsi exagérer le titre en acide phosphorique existant

normalement dans le sol en place, mais d'une eau ordinaire calcaire, qui sera le plus souvent pourvue de la dose de bicarbonate convenable; c'est une commodité à l'avantage du procédé. On pourra, d'ailleurs, substituer à l'eau ordinaire de l'eau distillée bouillie, qu'on aura additionnée d'un peu d'un sel de calcium (100^{mg} de CaO par litre) pour assurer la clarification des liqueurs en cours d'analyse.

Approvisionnement des sols en phosphates solubles a l'eau. — Il est utile, dès maintenant, d'évaluer l'approvisionnement réel des sols en phosphates susceptibles d'être dissous par l'eau. Pour y parvenir, j'ai cherché à retirer de diverses terres de bonne fertilité moyenne tout l'acide phosphorique que l'eau pourrait leur prendre. J'ai procédé à des traitements en flacon comme plus haut, mais en les répétant un grand nombre de fois sur un même échantillon. Les terres ont livré d'abord assez facilement, puis avec une extrême parcimonie, les phosphates qu'elles détenaient. Après 22 traitements successifs, elles en avaient cédé, au total, des poids correspondant à 130^{kg}, 210^{kg}, 440^{kg} d'acide phosphorique par hectare; ce sont là des stocks capables de subvenir à 5, 10 ou 20 récoltes, et l'épuisement n'était pas achevé. (Pour l'extraction de l'acide phosphorique soluble, j'ai constaté récemment qu'il y avait avantage à substituer au traitement en flacon un procédé permettant d'épuiser la terre par l'eau d'une manière continue.)

Cet approvisionnement en acide phosphorique soluble ne reste pas toujours, même en dehors des additions d'engrais, ce qu'il est à une époque donnée; dans une certaine mesure, il peut s'accroître naturellement avec le temps. Une terre humide, tant par la vie de ses hôtes petits ou grands que par des actions purement physiques ou chimiques, est un milieu sans cesse en voie de changement. Sous le rapport de son approvisionnement en phosphates solubles, elle change, comme pour le reste, progressivement, et le changement que j'ai constaté s'est fait dans le sens d'une augmentation fort appréciable, représentant une source d'acide phosphorique soluble qui peut contribuer efficacement à l'entretien de la végétation sans engrais. Mais, dans les terres cultivées auxquelles on donne des engrais à doses convenables, l'approvisionnement en phosphates solubles à

l'eau a son origine principale dans les engrais mêmes, bien plus que dans cette sorte de production spontanée que l'on vient de voir. Cela ressort avec évidence de la comparaison de deux terres de Rothamsted, de même nature, cultivées en froment pendant plus de 40 ans, l'une avec engrais, l'autre sans engrais. J'ai trouvé dans la première de 15 à 16 fois plus d'acide phosphorique soluble à l'eau que dans la seconde.

Ainsi donc : 1° il existe dans la dissolution qui imprègne un sol, quelle que soit l'humidité, un titre sensiblement constant d'acide phosphorique dissous; 2° un simple échantillon de 300^{g} de terre suffit pour la détermination de ce titre; 3° l'acide phosphorique dissous peut se renouveler dans les sols, si la végétation tend à l'y faire disparaître, et par conséquent n'est plus à laisser de côté dans la nutrition; 4° on trouve dans les sols de bonne fertilité moyenne un approvisionnement en phosphates solubles à l'eau qui pourrait faire face aux besoins de plusieurs récoltes; cet approvisionnement s'entretient en partie par un travail naturel du sol humide, mais surtout par les engrais.

Utilisation, par les plantes, de l'acide phosphorique existant dans les sols a l'état de dissolution. 1° *Sols artificiels.* — Pour que ces notions acquises sur les sols eussent tout l'intérêt qu'on prévoyait, il fallait prouver que les plantes ont la faculté de s'alimenter, exclusivement ou en grande partie, d'acide phosphorique présenté à l'état de dissolution et aux doses infimes qui se rencontrent dans les eaux du sol. J'ai obtenu cette preuve.

J'ai cultivé des haricots, des sarrasins, des maïs et du blé sur des sols constitués par du grès, stériles en eux-mêmes, mais arrosés avec des solutions nutritives où l'acide phosphorique, donné à l'état soluble, variait d'un sol à l'autre de 0^{mg},1 à 2^{mg},1 par litre.

L'arrosage était effectué au moyen de dispositifs spéciaux, que j'avais établis à cette occasion et qui répartissaient uniformément le liquide (10^{lit} par journée) sur toute la surface du sol de chaque culture. Au sortir des récipients qui contenaient les sols, les eaux d'égouttage étaient recueillies; on les analysait périodiquement, afin de suivre la marche de l'assimilation de l'acide phosphorique.

Les observations auxquelles ont donné lieu ces expériences ont été des plus nettes.

Les plantes ont pu se développer, alors qu'elles avaient pour unique source d'acide phosphorique des solutions ne contenant par litre que $0^{mg},5$ à 2^{mg} environ de cet acide. Quelques-unes ont remarquablement prospéré, ainsi qu'il est visible sur les figures 5, 6 et 7. Avec la dissolution à $2^{mg},1$, les maïs ont atteint une hauteur de plus de 3^{m} au-dessus

Fig. 5.

Haricots nains, noirs hâtifs de Belgique (10 août-4 novembre).

		I.	II.	III.	IV.
P^2O^5 donné par litre d'arrosage.....		$0^{mg},07$	$2^{mg},1$	$0^{mg},07$	$0^{mg},6$
Récoltes sèches.	tiges, feuilles, cosses.	$5^{g},80$	$23^{g},07$	$7^{g},29$	$11^{g},99$
	graines..	$0^{g},12$	$3^{g},70$	$0^{g},68$	$1^{g},70$

du sol et donné chacun deux épis ; à partir du moment où leurs racines ont eu un développement suffisant, ils ont dépouillé à peu près intégralement d'acide phosphorique la dissolution qui leur était offerte, n'y laissant que 1 ou 1,5 pour 100 de l'acide initial. Avec des dissolutions à $0^{mg},5$ et 1^{mg} seulement d'acide phosphorique par litre, le blé a encore donné des récoltes correspondant à 10^{hl} et 19^{hl} par hectare. Ces résultats ont mis hors de doute que les plantes étaient capables de s'alimenter fort bien avec l'acide phosphorique dissous, quand même il se présentait aux taux extrêmement faibles que l'on constate dans les eaux imprégnant les sols naturels, pourvu, bien entendu, qu'il leur fût présenté une quantité totale de cet acide suffisante pour la constitution de leurs tissus (1).

---

(1) Des expériences récentes, qui sont dues à M. le Professeur Kossowitsch et que

Remarque. — L'analyse périodique des liquidesd'égouttage recueillis dans les expériences précédentes a fait ressortir avec quelle perfection les plantes étaient capables d'extraire des dissolutions qu'elles rencontrent un principe qui leur sert d'aliment. Des solutions contenant, à leur entrée dans le sol, $2^{mg},1$ d'acide phosphorique par litre sortaient, après un contact de 4 heures ou 8 heures seulement avec les racines,

Fig. 6.

Sarrasins argentés (4 août-22 octobre).

	I.	II.	III.	IV.
P^2O^5 donné par litre.....	$0^{mg},07$	$2^{mg},1$	$0^{mg},07$	$0^{mg},6$
Hauteur moyenne des plantes récoltées..	53^{cm}	81^{cm}	46^{cm}	76^{cm}
Récoltes sèches. tiges et feuilles.....	$4^{g},08$	$15^{g},47$	$2^{g},29$	$10^{g},40$
Récoltes sèches. graines.....	$1^{g},38$	$11^{g},40$	$0^{g},89$	$7^{g},82$

au titre minime de $0^{mg},03$. Dans des témoins sans culture, on les retrouvait, à la sortie, avec leur titre initial. C'était donc bien les racines, et non le sol, qui les avaient dépouillées. Et encore l'appauvrissement, d'après certaines observations, aurait-il été plus parfait, si le contact avec les racines avait été plus prolongé ou plus intime et si le sol avait été rigoureusement inerte et incapable de céder à l'eau la moindre quantité d'acide phosphorique. Il faut donc penser que les racines ont le pouvoir d'enlever aux solutions qui leur sont offertes jusqu'aux dernières traces d'acide phosphorique. Je ne crois pas que

---

M. Grandeau a l'obligeance de porter à ma connaissance, confirment pleinement mes résultats. (*Annales de la Science agronomique française et étrangère,* 1903.)

Fig. 7.

Maïs, dent de cheval (4 juin-25 octobre).

	I.	II.	III.
P^2O^5 donné par litre	$0^{mg},6$	$2^{mg},1$	$0^{mg},07$
Hauteur des plantes récoltées	$2^m,29$	$3^m,06$	$1^m,62$
Récoltes sèches. feuilles, tiges, racines	$140^g,4$	$474^g,6$	$53^g,2$
Récoltes sèches. épis	$11^g,5$	146^g	»
Signalement des plantes	Deux plantes venant bien; développement incomplet par manque de P^2O^5.	Deux belles plantes portant chacune deux épis.	Deux plantes peu développées; le P^2O^5 offert est assimilé, mais insuffisant au total.

le fait ait été jamais établi avec une telle évidence et un tel degré d'approximation.

2° *Sols naturels.* — On vient de reconnaître la possibilité, pour les plantes, de s'alimenter en acide phosphorique aux dépens de dissolutions infiniment diluées. Il reste à savoir si, dans la réalité, elles exercent cette précieuse faculté, en utilisant les dissolutions qui existent et s'entretiennent au sein des sols naturels.

J'ai fait pousser des maïs sur de véritables terres végétales, de manière à déterminer les pertes en phosphates solubles qu'elles subiraient du fait de la culture. Pour évaluer ces pertes, j'ai comparé, sous le rapport de la teneur en acide phosphorique soluble, les sols après culture aux mêmes sols non cultivés et maintenus humides à côté des premiers. J'ai constaté que les sols cultivés étaient sensiblement plus pauvres en phosphates solubles à l'eau. Il n'était pas douteux que les plantes eussent utilisé ces composés solubles.

Mais on peut préciser davantage. On a dosé le phosphore total contenu dans les plantes entières (en excès sur celui des graines) et on l'a rapproché des pertes subies par les sols. On a vu alors que les quantités d'acide phosphorique soluble perdues par les sols représentaient la moitié ou même les $\frac{9}{10}$ du phosphore total gagné par les plantes durant la végétation. Les choses s'étaient donc passées comme si les plantes avaient emprunté aux phosphates solubles à l'eau tantôt la moitié (terre de Galande, pauvre en acide phosphorique soluble), tantôt la presque totalité (terre de Boulogne, riche) de leur phosphore. Nous avons là une sorte de vérification globale de tous les faits exposés plus haut.

Ainsi nous pénétrons un peu plus avant dans l'intimité des phénomènes de la nutrition; nous mesurons la proportion du phosphore qui parvient aux plantes par les dissolutions du sol et nous reconnaissons que cette proportion est considérable.

L'intervention des phosphates dissous n'annule pas le rôle des phosphates que les racines attaquent directement selon les idées anciennes; mais elle le restreint beaucoup et oblige à compter désormais avec des principes qu'on se croyait autorisé à négliger.

De ces expériences faut-il déduire que le titre en acide phosphorique

de la dissolution des sols règle, en grande partie, leur fertilité? Ce serait conclure trop vite. Il y a, entre un sol et un autre quelconque, trop d'éléments de dissemblance. Mais quand des sols sont vraiment comparables, leur titre en acide phosphorique dissous peut prendre une très grande importance pour faire juger de leur valeur relative. C'est ainsi que M. Artus, ayant étudié à la suite de mes expériences 8 terres d'une même région et de constitutions semblables, a trouvé qu'elles se classaient dans le même ordre d'après leur teneur en acide phosphorique dissous et d'après leur rendement en blé.

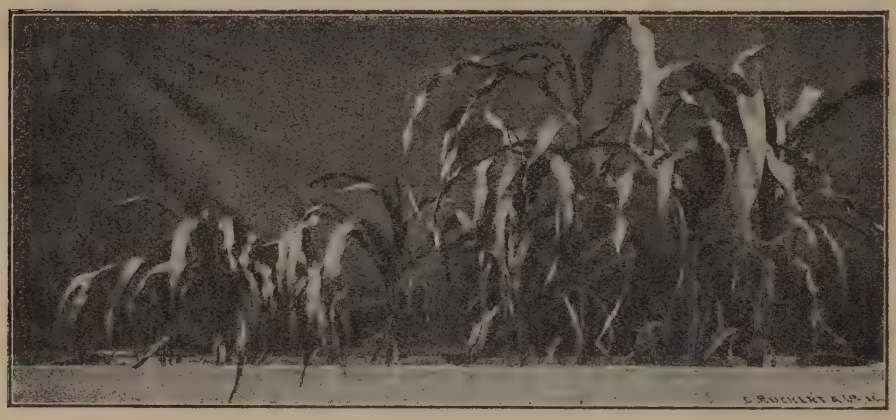
Role de l'eau. — Le rôle de l'eau, déjà si considérable dans les phénomènes de végétation, paraît grandi encore par ce qui précède. L'eau des sols peut être regardée comme le véhicule d'une bonne part, peut-être de la plus grande part, de l'acide phosphorique (et d'autres principes encore) absorbé par les racines. Plus exactement, elle peut constituer un milieu de passage que traverse l'acide phosphorique pour se rendre du sol dans les racines; les racines y puisent cet acide et le sol répare la perte. Il n'est pas besoin pour cela que l'eau soit renouvelée ni très abondante, bien qu'elle doive, étant plus abondante, mieux remplir sa fonction. Il n'est pas besoin non plus qu'elle s'absorbe en même temps que l'acide phosphorique pour que cet acide pénètre dans la plante; eau et acide sont indépendants sous ce rapport. Ce milieu de passage, que l'eau représente, ne laisse circuler que très peu d'acide phosphorique à la fois; mais la circulation est incessante dans la période de végétation et arrive à fournir aux plantes une importante quantité d'aliment. Sans ce jeu, une partie des phosphates non dissous, que les racines n'auraient pas la chance de rencontrer dans le sol et que par suite elles ne pourraient pas attaquer directement, constituerait un fonds inutile à la végétation.

Potasse dissoute par les eaux du sol. Utilisation de cette potasse par les plantes.

Comptes rendus, 12 février 1900.

Comme l'acide phosphorique, la potasse se présente dans les dissolutions du sol en proportions très minimes. Dans les 3 millions ou

Fig. 8.



I.	II	III.	IV.
$1^{mg},8$	$1^{mg},8$	$7^{mg},5$	$7^{mg},5$

Mais jaune gros (6 juin-23 septembre).

	I et II.	III et IV.
K^2O donnée par litre (10^{lit} par journée)	$1^{mg},8$	$7^{mg},5$
Hauteur moyenne des plantes récoltées	$1^{m},17$	$1^{m},91$
Récoltes sèches : tiges et feuilles	63^{g}	160^{g}
Récoltes sèches : fruits	0^{g}	104^{g}
Signalement des plantes	Grêles, sans fruit; K^2O offerte est assimilée, mais insuffisante au total.	Bien développées.

4 millions de kilogrammes de terre végétale d'un hectare, il y a seulement 1^{kg}, 2^{kg} ou 5^{kg} de potasse en dissolution. Le sol renferme, d'autre part, des réserves très importantes de potasse non dissoute. Il est bien entendu que les racines, en vertu du pouvoir dissolvant qu'elles possèdent, peuvent prélever directement de la potasse sur l'approvi-

sionnement d'alcali non dissous. Quant à la très petite portion qui est dissoute, peut-elle leur être de quelque ressource? La réponse est la même que pour l'acide phosphorique. A un moment donné, la potasse dissoute ne compte pas, pour ainsi dire, devant la consommation d'une récolte; mais elle se renouvelle à mesure qu'elle s'épuise et par suite elle a droit à entrer en ligne de compte dans l'alimentation des plantes.

J'ai constaté expérimentalement ce renouvellement de la potasse. Il est inutile d'y insister après avoir donné à propos de l'acide phosphorique les détails qui précèdent.

J'ai mis, de plus, en évidence, au moyen des cultures dont il est rendu compte par la figure 8, que les plantes peuvent s'alimenter d'une manière très convenable aux seuls dépens de dissolutions qui n'en renferment que quelques millionièmes. Ces résultats sont tout à fait analogues à ceux que j'ai présentés plus haut, avec cette différence que les dissolutions du sol sont un peu moins pauvres en potasse qu'en acide phosphorique.

Conclusion des expériences sur l'acide phosphorique et la potasse. — La nutrition des plantes peut se faire par des principes qui se présentent dans les dissolutions avec des titres de l'ordre des millionièmes, des cent-millionièmes et sans doute d'un ordre moindre encore.

Il convient de donner au mot *soluble* une extension considérable et de regarder comme doués d'une solubilité suffisante pour intervenir puissamment dans la nutrition des corps qu'on disait insolubles et qu'on jugeait inutiles tant qu'ils ne subissaient d'autre action dissolvante que celle de l'eau.

Ces principes d'une solubilité infime sont à prendre en considération dans l'étude des moyens de déterminer et d'accroître la fertilité.

Action des liqueurs acides très étendues sur les phosphates du sol.

Comptes rendus, 17 avril 1899 et 13 mai 1901.

Si l'on étudie de très près l'action, sur la terre végétale, d'un acide (l'acide azotique, parce qu'il est commode pour le dosage de l'acide

phosphorique par le réactif molybdique), toujours très étendu, mais étendu à divers degrés, on rencontre des faits inattendus relativement à la dissolution de l'acide phosphorique.

On traite 20^g de terre par 1^{lit} d'eau contenant un poids exactement connu d'acide azotique (Az^2O^5). Pour entretenir un contact intime entre la terre et le liquide, on les introduit dans un flacon qu'on fait tourner lentement autour d'un axe horizontal suivant un procédé déjà indiqué. Divers autres lots de 20^g de la même terre sont ainsi agités doucement avec des liquides de plus en plus acides. Après 10 heures de rotation, les réactions sont arrivées à l'équilibre et l'on détermine pour chaque lot l'acide phosphorique dissous, ainsi que l'acidité finale du liquide, laquelle peut différer beaucoup de l'acidité initiale par suite des bases et notamment de la chaux existant dans la terre, surtout à l'état de carbonate. Si l'on a resserré suffisamment les intervalles entre les titres acides des liquides mis en œuvre, on aperçoit que, lorsque ces titres croissent peu à peu depuis zéro, l'acide phosphorique dissous croît d'abord, puis il s'arrête à un certain taux pour reprendre ensuite son ascension. Quand on représente graphiquement les résultats, en portant en abscisses les quantités d'acide azotique libre initial par litre et en ordonnées celles de l'acide phosphorique dissous, on obtient une ligne ressemblant à une rampe interrompue par un court palier.

Cette rampe est variable d'une terre à l'autre; mais il se trouve que, pour toutes les terres examinées, le palier est compris entre deux titres des liquides correspondant sensiblement à une acidité finale de $\frac{1}{10000}$ ou $\frac{2}{10000}$ d'acide azotique libre d'une part et de $\frac{1}{1000}$ d'autre part.

Il sépare l'acide phosphorique du sol en deux catégories : l'une qui, dans les conditions des expériences, est dissoute par une liqueur d'une acidité finale extrêmement faible, voisine de $\frac{1}{10000}$ à $\frac{2}{10000}$ d'acide azotique; l'autre qui commence à se dissoudre à partir d'une acidité d'environ $\frac{1}{1000}$.

J'ai reconnu, en outre, que les terres cédant le plus d'acide phosphorique aux acides faibles, de $\frac{1}{10000}$ à $\frac{2}{10000}$ d'acidité, étaient aussi celles qui en cédaient le plus à l'eau ordinaire. Il était donc à prévoir que, les phosphates solubles à l'eau présentant, on l'a vu, un intérêt spécial dans l'alimentation des plantes, les phosphates solubles aux acides faibles y joueraient eux-mêmes un rôle important.

C'est ce qu'a reconnu, peu après, M. Alexius de Sigmond. Partant de mes observations et opérant sur des terres de Hongrie de diverses natures, il a d'abord vérifié l'existence des deux catégories de phosphates qui viennent d'être signalées. Il a, en outre, par des expériences de culture, établi un lien étroit entre la teneur des terres en acide phosphorique de la première catégorie et leurs besoins réels en engrais phosphatés. Dans les conditions où il a expérimenté (25^g de terre agités avec 1^{lit} de liquide acide), il a vu que, lorsqu'un sol donnait plus de 0,75 pour 1000 d'acide phosphorique de la première catégorie, il recevait sans profit pour les récoltes une addition de phosphates.

Ces résultats font ressortir l'intérêt de la distinction des deux catégories de phosphates que j'avais établie précédemment. Il est permis de penser que la nouvelle méthode d'analyse fondée sur cette distinction résoudra, plus sûrement que ses devancières, l'importante question de savoir si une terre réclame ou non des engrais phosphatés.

III.

RECHERCHES CONCERNANT LA DÉCOMPOSITION DES MATIÈRES VÉGÉTALES. DIVERS CAS DE FERMENTATION.

Sur la combustion lente de certaines matières organiques et, en particulier, du fumier, avec et sans microbes.

Comptes rendus, 30 avril 1888 et 11 mars 1889;

Annales agronomiques, 1891;

Mémorial des Manufactures de l'État, 1888 et 1889.

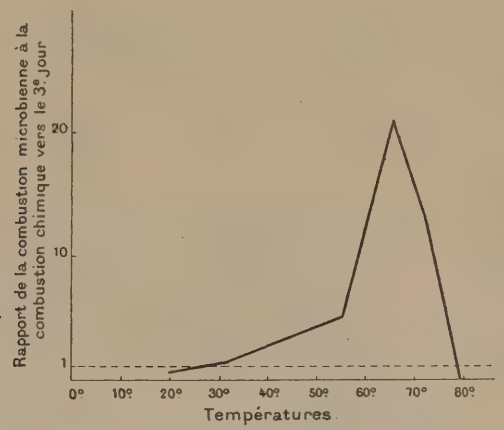
Bien des substances organiques, feuilles, herbes, foin, fumier, s'échauffent lorsqu'elles sont accumulées en masses perméables à l'air et atteignent, en peu de temps, des températures relativement élevées. Il est naturel de penser que l'intervention de microbes n'est pas étrangère à cet échauffement. Mais la température s'élève souvent bien au-dessus de 80° et 100°, et il paraît même arriver que les matières prennent feu; évidemment le travail microbien a cessé alors et des actions purement chimiques s'accomplissent.

J'ai étudié ces phénomènes en vue de déterminer la part qu'y prennent les microbes. Plusieurs lots de matières, les uns stérilisés par la chaleur, les autres stérilisés en même temps que les premiers, puis ensemencés, ont été mis en expérience à des températures variées. J'y faisais passer de l'air en excès et je déterminais la quantité d'acide carbonique emportée avec l'air sortant des appareils. Cette quantité mesurait l'intensité de la combustion.

Voici les résultats obtenus avec du fumier. La combustion observée est imputable pour une part à des microbes et pour une autre part à des réactions purement chimiques. M. Debérain avait déjà reconnu ces deux sortes de combustion qui s'accomplissent au sein du fumier aéré. J'ai donné diverses mesures des deux combustions (*fig.* 9).

J'ai constaté qu'il se rencontre dans le fumier des ferments qui fonctionnent encore avec une singulière énergie à la température de 73°; à cette température, ils ont fourni jusqu'à 15 fois plus d'acide carbo-

Fig. 9.



nique que la simple combustion chimique. Le cas de microbes opérant à de pareilles températures, sans être absolument exceptionnel, n'est pas fréquent (M. Van Tieghem avait cité antérieurement un streptocoque poussant bien à 74° et d'autres bactéries thermophiles; M. Miquel, M. Globig avaient signalé aussi des êtres vivant à des températures de 60° à 70°). A 80°, l'action des microbes ne s'observe plus dans le fumier; la production d'acide carbonique s'abaisse brusquement dans les lots ensemencés pour égaler celle des lots stériles. Elle se relève ensuite dans les deux sortes de lots, quand la température continue à croître au delà de 80°, et prend bientôt une grande intensité.

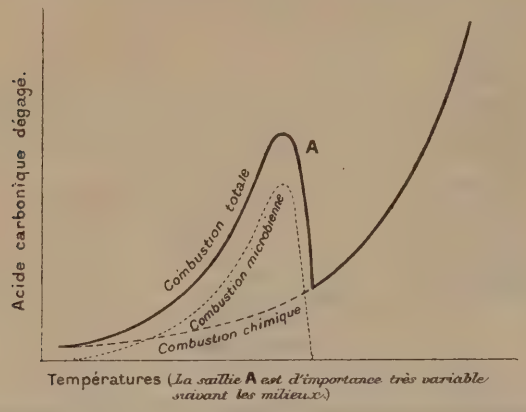
J'ai aussi appliqué la méthode précédente au tabac, dans le but de faire mieux connaître sa fermentation, dite en *masses*, fort importante en fabrication; les deux combustions, microbienne et purement chimique, se sont encore montrées manifestement Je les ai également

mises en évidence et séparées en utilisant la vapeur de chloroforme pour supprimer le travail microbien. Les résultats ont été les suivants. L'action comburante des microbes est dominante à 50°; elle n'est plus appréciable à 70°. La combustion purement chimique s'élève rapidement quand la température dépasse 70°. Les transformations de matières qu'on recherche en fabrication s'accomplissent à 70° et au-dessus; les seuls microbes ne les produiraient pas.

D'après ces expériences, tant sur le fumier que sur le tabac, on peut

Fig. 10.

Représentation des combustions dans un milieu solide en fermentation dont la température s'élève progressivement.



concevoir que, dans un milieu solide en fermentation, formant une grande masse et s'échauffant jusque bien au-dessus des températures compatibles avec la vie, les microbes et, durant quelque temps après leur mort, leurs diastases servent à aviver la combustion et à la porter à un point où les réactions chimiques se continuent et s'exaltent d'elles-mêmes (*fig.* 10).

Fermentation sans air du fumier.

Comptes rendus, 11 mars 1889;

Annales agronomiques, 1891.

Comme dans le cas de la fermentation aérobie, j'ai été conduit à préciser jusqu'à quelle température se poursuit le travail microbien, lorsque la décomposition du fumier a lieu à l'abri de l'air. J'ai constaté que la production de méthane, due, d'après les travaux de M. Dehérain et de M. Gayon, aux ferments, n'avait plus lieu à 65°, tandis qu'elle était encore active à 52°; elle s'éteint entre ces deux limites; elle ne peut donc se faire dans les parties très chaudes (75°) d'un tas de fumier.

De plus les mesures faites ont montré qu'en l'absence d'air le poids de carbone gazéifié, la dissipation de matière organique du fumier est bien moins prononcée qu'au contact de l'air; c'est dans les parties aérées du tas que se produisent les grandes pertes de matière.

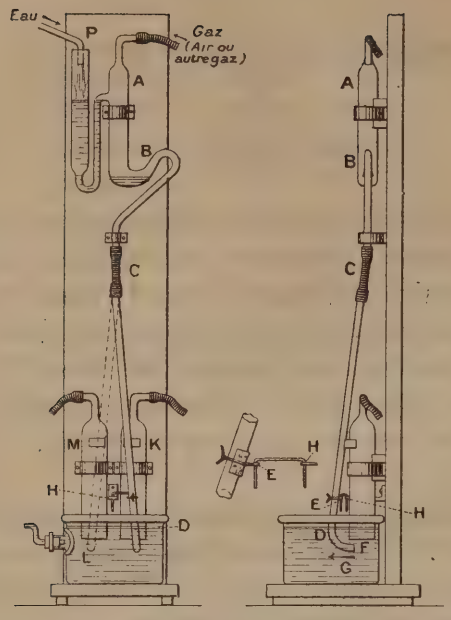
Appareils distributeurs de gaz, employés dans les recherches précédentes.

Mémorial des Manufactures de l'État, 1888 et 1889.

Ces appareils ont pour fonction de distribuer des volumes, égaux entre eux, d'air ou d'un autre gaz dans plusieurs récipients, soumis, par exemple, comme plus haut, à des observations comparatives. Ils m'ont permis, dans les recherches sur les fermentations, avec et sans air, du fumier et du tabac, de faire passer pendant de longs mois des courants d'air ou d'azote parfaitement réguliers dans les lots de matières en expérience.

L'un d'eux, destiné à fournir *deux* volumes de gaz égaux, mérite peut-être d'être cité, à cause de son extrême simplicité. Il est suffisamment expliqué ci-contre (*fig.* 11).

Fig. 11.



ABCD trompe intermittente, débitant à chaque onctionnement un volume constant BCD de gaz; sa partie inférieure CD est mobile grâce à l'élasticité du caoutchouc C; l'œilleton E, solidaire du tube CD, sera assujetti, quand il se déplacera, à décrire un arc de cercle autour du centre fixe H; CD décrira alors une portion de cône, de sommet C. L'eau arrive d'une manière continue en P.

Quand la trompe s'amorce, l'eau chasse le gaz dans la cloche K où il arrive sans perte; elle sort du tube CD par F à la suite du gaz et, comme dans le tourniquet hydraulique, donne alors au tube CD une impulsion dans le sens de la flèche G. Par l'effet de cette impulsion le tube CD quitte sa position de repos actuelle et va prendre sa deuxième position de repos CL, symétrique de la première, après que E a décrit sensiblement une demi-circonférence autour de H. Quand la trompe fonctionne de nouveau, son gaz s'élève dans la cloche M; puis CL, lancé par l'écoulement de l'eau, va reprendre sa première position; et ainsi de suite. Les cloches K et M, après un nombre pair d'oscillations du tube mobile, ont reçu chacune rigoureusement le même volume de gaz.

Un autre dispositif donne une solution générale de la répartition d'un gaz en un nombre quelconque de portions égales. Il consiste en une trompe intermittente dont le gaz débité est distribué tour à tour à différentes cloches.

Ces appareils, construits avec les éléments les plus simples, ont fonctionné très longtemps sans arrêt.

Contribution à l'étude de la nitrification dans les sols.

Comptes rendus, 22 novembre 1897.

La nitrification et, d'une manière générale, les combustions microbiennes de matière organique sont d'ordinaire moins actives dans les terres fortes, à éléments très fins, que dans les terres légères, à éléments relativement grossiers. C'est là un fait connu, dont M. Müntz a signalé des exemples précis et que les praticiens traduisent en disant que les terres fortes conservent le fumier. Pour l'expliquer, on invoque communément la facilité plus grande avec laquelle l'air pénètre dans les terres légères.

Dans bien des cas, je ne dis pas dans tous les cas, ce n'est pas l'air, mais l'eau qui manque aux terres fortes pour que les combustions s'accomplissent avec intensité, et cela alors qu'elles présentent des taux d'humidité égaux ou supérieurs à ceux des terres légères où les mêmes combustions ont toute leur énergie.

J'ai fait, à ce sujet, des expériences dans lesquelles j'ai employé des sols artificiels qui étaient composés de sable et d'argile, et où la dose d'argile allait croissant, l'humidité restant constante. La nitrification de l'ammoniaque s'opérait bien dans les lots correspondant, par la proportion de sable, à des sols légers, et très imparfaitement dans ceux qui contenaient 25 ou 30 pour 100 d'argile. Tous ces sols étaient extrêmement divisés, nullement tassés, tout à fait perméables; on ne pouvait songer que l'air y manquât.

Dans les lots fortement argileux (à 30 pour 100 d'argile), qui nitrifiaient très mal, il a suffi de faire passer l'humidité de 9,5 à 11,5 pour 100 pour obtenir une nitrification complète; or, cette addition d'eau a plutôt diminué l'aération, le liquide ajouté occupant une partie des espaces lacunaires libres auparavant. Ce n'est donc pas l'air, mais l'eau qui avait manqué aux sols.

Les terres fortes des champs se trouvent fréquemment dans ces conditions où, sans manquer d'air, elles n'ont pas assez d'eau; la nitri-

fication et les autres combustions microbiennes y sont alors fort ralenties.

Comment ce manque d'eau agit-il sur les combustions microbiennes? Les terres fortes, relativement riches en argile, comprennent une proportion élevée d'éléments très petits, dont l'ensemble présente une très grande surface. A égalité d'humidité avec des terres légères, leurs éléments sont recouverts de couches d'eau bien plus minces; l'épaisseur de ces couches peut facilement, par exemple si l'humidité s'abaisse vers 10 pour 100, atteindre un degré de petitesse qui, un calcul approximatif le montre, est tout à fait de l'ordre des dimensions des microbes et doit entraîner une gêne pour leur alimentation.

La lenteur avec laquelle s'opère la nitrification dans les terres fortes ne constitue pas précisément pour elles une infériorité. L'engrais peut y avoir moins d'effet, mais son effet est plus durable; les entraînements de nitrates par les eaux peuvent y être moins sensibles. Et puis, les terres fortes ont toujours cet avantage qu'elles gardent l'eau mieux que les terres légères et sont plus capables de donner de bonnes récoltes dans les années sèches. L'art du cultivateur est, en grande partie, de savoir les travailler en temps opportun, pour ne pas les *gâter*, c'est-à-dire les mettre dans un état physique défavorable.

Sur les fermentations en milieux composés de particules solides. Fumier.

Comptes rendus, 5 juillet 1897.

On sait que la nitrification éprouve une recrudescence marquée dans une terre à la suite d'une trituration du milieu. Ce n'est pas là un phénomène particulier à la terre végétale ni à la nitrification. D'une manière générale, quand un milieu composé de particules solides est le siège d'une fermentation, chaque fois qu'on le brasse, la fermentation reprend de l'intensité; elle augmente, atteint un maximum, puis diminue et s'arrête, alors que le milieu se trouve bien loin d'être épuisé, pour se réveiller de nouveau lorsqu'un brassage lui sera encore donné.

On a été parfois porté à croire que l'effet du brassage résultait du renouvellement de l'air au sein des matières et, par suite, de la pénétration d'oxygène dans des parties qui en étaient privées et qui, pour ce motif, ne fermentaient plus. Je me suis proposé de voir si cette explication, bonne sans doute en certains cas, était toujours à adopter.

J'ai d'abord cherché si une fermentation anaérobie s'exalterait par le brassage pratiqué en dehors de toute aération. Des lots de fumier ont été abandonnés dans des flacons à la fermentation sans air; dans une première partie de l'expérience, les uns étaient secoués périodiquement dans les flacons mêmes, les autres demeuraient immobiles; ensuite, les premiers restaient immobiles, tandis que les seconds étaient remués de temps à autre. Mesurant l'intensité de la fermentation par le dégagement total de gaz, j'ai vérifié nettement dans chaque cas l'influence du brassage sur l'exaltation de la fermentation. Or ce brassage n'introduisait pas d'air. Ce n'est donc pas par l'aération qu'il opérait.

Considérons maintenant le cas d'une fermentation aérobie. Un grand nombre d'expériences antérieures (sur le tabac) m'avaient montré que le brassage peut très bien produire le réveil de la fermentation, alors même qu'au moment où on le pratique l'atmosphère contenue dans le milieu est très riche en oxygène. Dans ces conditions, on pouvait se demander si le réveil observé était dû à ce que le brassage faisait pénétrer l'air, non pas dans l'ensemble du milieu, où cet air était présent, mais dans des conduits étroits, capillaires, où l'oxygène ne se renouvelait pas quand le milieu demeurait immobile. J'ai soumis cette idée à l'épreuve de l'expérience.

Il y a un moyen de renouveler complètement l'air dans un milieu composé de particules solides, mieux encore que par un brassage minutieux; c'est d'y faire le vide un instant, puis de rendre la communication avec l'atmosphère. M'aidant de ce moyen, j'ai mis à fermenter plusieurs lots de fumier, à 55°, en y faisant passer un grand excès d'air; l'un était brassé périodiquement, un autre brassé et, pendant quelques minutes, soumis au vide, un troisième soumis au vide sans brassage; enfin, le dernier ne subissait aucune manipulation. Le résultat a été que les lots brassés, avec ou sans vide, ont, seuls, éprouvé des recrudescences de fermentation.

Ainsi, l'aération, même l'aération profonde obtenue par le vide, est restée sans effet sur la marche de la fermentation, tandis que le simple brassage, même sans l'aération profonde du vide, a exercé une action manifeste. Ce n'est donc pas par l'aération que le brassage a influé sur la fermentation.

Il va de soi qu'il peut agir par l'air qu'il introduit, si l'atmosphère comprise dans l'ensemble du milieu est notablement appauvrie en oxygène.

Il y a lieu aujourd'hui de penser que le brassage favorise d'ordinaire la fermentation en produisant, au voisinage des colonies microbiennes dont le développement s'est ralenti ou arrêté, le renouvellement de l'aliment ou quelqu'une de ces légères modifications du milieu de culture auxquelles les microorganismes sont si sensibles.

Sur la rapidité avec laquelle sont solubilisées dans le sol certaines matières employées comme engrais.

Les morceaux d'étoffe de laine, les peaux, qu'on emploie comme matières fertilisantes, présentent une certaine résistance aux agents de destruction qu'ils rencontrent dans le sol. Mais, quand diverses circonstances propices se trouvent réunies, ils peuvent être solubilisés très rapidement. J'ai enfoui dans des terres légères, très perméables à l'air, des bandes de flanelle et de peau de chevreau longues de plusieurs mètres. Les sols étaient entretenus, par des arrosages, dans un état d'humidité marquée, et les expériences avaient lieu par un temps chaud. Dans ces conditions, la flanelle et la peau ont intégralement disparu en six ou sept semaines ; au bout de ce temps, il était à peu près impossible d'en retrouver la trace dans les sols.

IV.

RECHERCHES DIVERSES.

Sur la composition du grisou.

Comptes rendus, 17 février 1896;

Annales des Mines, janvier 1897.

J'ai été conduit à étudier le grisou comme un produit de la décomposition lente des matières végétales dans le cas particulier de leur transformation en houille.

La décomposition lente des matières végétales à l'abri de l'air fournit assez généralement, comme produit gazeux combustible, du méthane. Ce n'est pourtant pas là le seul gaz combustible qu'elle puisse donner. Ainsi, dans la fermentation sans air de la paille du fumier, M. Dehérain a trouvé qu'il se faisait parfois de l'hydrogène, et j'ai rencontré après lui le même fait.

Dans la transformation des matières végétales en houille, s'est-il communément formé d'autres gaz combustibles que le méthane? Le méthane est-il le seul gaz combustible qui figure d'ordinaire dans la composition du grisou des mines? Des savants faisant autorité estimaient que, malgré de nombreux travaux antérieurs, la question n'était pas suffisamment éclaircie.

J'ai examiné une grande quantité d'échantillons de grisou, correspondant aux principaux types des mines françaises. Je les ai soumis à l'analyse la plus soignée, Leur partie combustible a le plus souvent

consisté en méthane à très peu près pur. Dans trois cas sur seize, le méthane était accompagné d'une proportion, faible mais sensible, d'hydrocarbure étranger, par exemple de 2 à 4 pour 100 d'éthane.

En définitive, comme dans la fermentation sans air du fumier, comme dans la décomposition des matières végétales au fond des marais, le gaz combustible, dégagé en proportion tout à fait dominante dans la formation de la houille, a été le méthane.

Incidemment, j'ai constaté que le méthane doit être une combinaison de carbone et d'hydrogène un peu plus condensée qu'on l'admet d'ordinaire.

L'azote et l'argon dans le grisou et dans le gaz de Rochebelle.

Comptes rendus, 27 juillet et 3 août 1896.

Je pensais d'abord m'en tenir à l'étude de la partie combustible du grisou, à laquelle on attache ordinairement une importance à peu près exclusive. Mais bientôt la partie incombustible, ou plutôt l'azote de cette partie, et ensuite l'argon que j'y ai reconnu, m'ont paru très dignes d'attention.

Il y a toujours de l'azote dans le grisou. Sa proportion y varie entre des limites fort écartées (de 0,75 à 30 pour 100 sur 23 échantillons examinés). D'où vient-il? On a admis le plus souvent, je crois, qu'il avait été dégagé par les principes azotés des matières végétales passées à l'état de houille. Mais cette origine me paraissant douteuse, je me suis demandé si l'azote du grisou ne proviendrait pas de l'atmosphère. Pour le savoir, j'ai cherché si cet azote contiendrait de l'argon ; j'en ai trouvé dans tous les cas.

Avant de conclure à l'origine atmosphérique de l'azote du grisou, il était bon de s'assurer que l'argon obtenu ne pourrait émaner de la houille elle-même; mais, ayant brûlé complètement de la houille, j'ai séparé l'azote des produits de la combustion et l'ai traité en vue d'en isoler l'argon ; je n'en ai pas obtenu une proportion appréciable.

Poursuivant les dosages d'argon dans l'azote du grisou, en ayant

soin de n'opérer que sur des échantillons prélevés à coup sûr sans aucune introduction d'air extérieur, j'ai constaté que l'argon et l'azote, malgré de très grandes variations par rapport au total du grisou, conservaient toujours entre eux un rapport assez voisin de celui qu'ils ont dans l'atmosphère.

D'où cette conclusion que l'azote du grisou provient surtout de l'atmosphère. Ainsi l'argon peut être un témoin précieux de l'origine de l'azote.

Recherches de l'argon dans les gaz de la vessie natatoire des Poissons et des Physalies.

En commun avec M. J. Richard.

Comptes rendus, 9 mars 1896.

Nous avons trouvé que l'argon est présent dans l'organisme d'animaux vivant au sein de la mer, à des profondeurs atteignant 1385^{m} et qu'il s'y rencontre en proportion à peu près de même ordre, par rapport à l'azote, que dans notre atmosphère.

L'argon et l'azote dans le sang.

En commun avec M. P. Regnard.

Comptes rendus, 8 février 1897.

Il nous a semblé intéressant de chercher si l'argon existait dans le sang circulant et dans quelle proportion. 10^{lit} de sang ont été pris à la jugulaire d'un cheval de manière à éviter tout contact du liquide avec l'air extérieur. Nous avons tiré de ce sang un volume de gaz qui nous a suffi pour la recherche à faire. Exécutant les dosages comme on l'a vu, nous avons trouvé par litre de sang : Az 20$^{cm^3}$,0 et argon 0$^{cm^3}$,419,

L'argon accompagne donc l'azote dans le sang comme dans bien d'autres milieux.

D'autre part, nous avons déterminé la solubilité de l'azote chimique (provenant du protoxyde d'azote) et celle de l'argon pur dans l'eau distillée bouillie, dans le sérum et dans le sang complet, à la température du corps de l'animal, soit à 38°; nous avons trouvé qu'à cette température 1^{lit} de sang dissout, comme l'eau, $25^{cm^3},5$ d'argon et $11^{cm^3},5$ d'azote chimique, ces deux gaz étant présentés à la pression de 1^{atm}. D'après cela, 1^{lit} de sang circulant devrait contenir $8^{cm^3},5$ d'azote et $0^{cm^3},23$ d'argon. Or nous avons obtenu environ le double pour les deux gaz. Nous retrouvions là le fait connu de la surcharge du sang en azote dissous, auquel nous ajoutions celui de la surcharge en argon. On a expliqué, depuis nos recherches, ces surcharges par l'existence des couches gazeuses retenues mécaniquement autour des globules.

Détermination de la densité des gaz sur de très petits volumes.

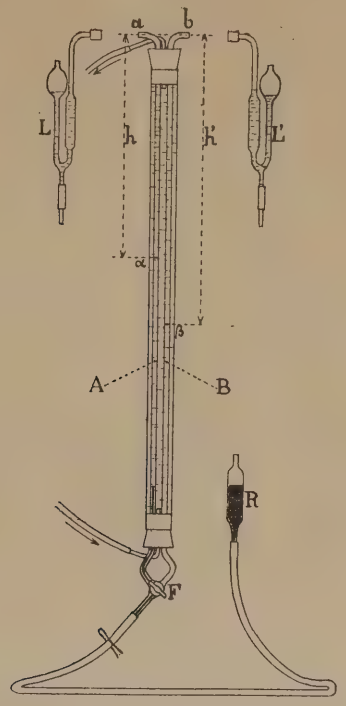
Comptes rendus, 17 janvier, 7 février et 21 mars 1898.

Dans des expériences sur la végétation et sur diverses fermentations, j'ai eu à vérifier la nature de gaz dont je ne possédais ou dont il importait de ne consommer que de très faibles quantités. J'ai cherché, pour m'éclairer, à en mesurer la densité. Je n'attendais, de la méthode que j'ai étudiée à cette occasion, qu'une approximation assez grossière; il se trouve, au contraire, qu'elle peut conduire à des résultats d'une précision à utiliser en plus d'un cas.

Qu'on suppose, au fond d'un système de deux tubes verticaux A et B communiquant par leur partie inférieure et de même hauteur, un certain gaz G_1; au-dessus de ce gaz se trouve d'un côté un gaz G_2 et de l'autre un gaz G_3, les gaz G_2 et G_3 étant plus légers que le premier et ne se mêlant pas avec lui. On conçoit que si l'on mesure verticalement, à partir d'un même plan horizontal, les colonnes gazeuses qui se font équilibre dans les deux tubes A et B, on sera en état, connaissant les densités de deux des gaz, de calculer celle du troisième.

Seulement, il faut parvenir d'abord à disposer trois gaz comme il convient dans le système des deux tubes et à les mettre en équilibre

Fig. 12.



A et B tubes de 2^{mm} à $2^{mm},5$ de diamètre intérieur et de 1^{m} à $1^{m},50$ de long, selon les cas, communiquant par le bas et maintenus à température constante.

F robinet à trois voies.

R réservoir à mercure.

On remplit B du gaz G_3 (supposé plus léger que CO^2) dont on cherche la densité et A de CO^2; puis, ouvrant F pour faire communiquer A et B, on laisse l'équilibre s'établir. Après quelques minutes, il y a en A une colonne $a\alpha = h$ d'air, en B une colonne $b\beta = h'$ du gaz G_3; $\alpha F \beta$ est plein de CO^2.

On isole A de B en tournant F. On adapte à a un absorbeur-manomètre à potasse L; on y envoie, en déplaçant R, la colonne $F\alpha a$; CO^2 s'absorbe; en rétablissant en A la pression atmosphérique, on est amené à placer le niveau du mercure en α, dont on lit la position sur une échelle graduée en millimètres; ce qui donne h. On a de même h', en se servant de l'absorbeur-manomètre L'. (La diffusion des gaz deux à deux en α et β n'entraîne pas d'erreur; la diffusion en b est évitée par un artifice.)

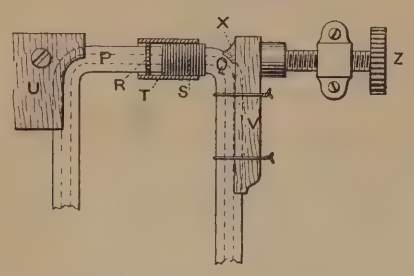
Une relation très simple entre h, h' et les densités des gaz donne la densité cherchée.

et ensuite à mesurer des colonnes superposées de ces gaz. Un appareil, dont les parties essentielles sont représentées ci-contre (*fig.* 12), et

des manipulations assez simples m'ont permis d'y réussir. Quant à la mesure des colonnes gazeuses, la difficulté est qu'on ne les voit pas. Mais deux gaz étant placés l'un au-dessus de l'autre dans un tube sans se mêler sensiblement, on peut déterminer la position de leur surface de contact par un artifice qui consiste au fond à faire disparaître l'un des deux par un réactif absorbant et à mettre à sa place du mercure. Le niveau de ce liquide, bien visible, indique le niveau, précédemment invisible, où s'arrêtait le gaz absorbé.

Pour que les choses puissent se passer comme nous le supposons, pour que des gaz restent quelque temps superposés sans qu'il s'en mêle des proportions importantes, il est manifeste que la longueur des colonnes gazeuses doit être extrêmement considérable par rapport

Fig. 13.



Dispositif permettant de raccorder deux tubes bout à bout sans variation appréciable de pression pour les gaz à l'intérieur des tubes raccordés.

P et Q tubes capillaires, rodés en bout, à raccorder ; P est fixe et Q mobile.
R rondelle mince de caoutchouc découpée avec un rasoir dans un tuyau à vide.
S bague de caoutchouc pour maintenir le bout de tube T qui supporte la rondelle R.
U cale en bois.
V petite pièce de bois liée au tube Q.
X mastic Golaz.
Z vis de pression avec laquelle on applique Q contre P en comprimant doucement la rondelle.

Bien fait, ce joint tient le vide.

à leur diamètre, c'est-à-dire que pratiquement il faut opérer dans des tubes très étroits. Et c'est ici que s'impose comme nécessaire une condition qui, loin d'être une gêne, entraîne le principal avantage de la méthode : les tubes devant être très étroits, les volumes gazeux em-

ployés seront très petits. En fait, j'ai obtenu d'excellentes déterminations de densité sur quelques centimètres cubes de gaz.

Il y a assez loin du principe de la méthode à sa réalisation. Pour arriver à la mettre en pratique de manière à en tirer des résultats d'une réelle précision, il a fallu étudier en détail le mouvement des gaz dans des tubes étroits, imaginer des dispositifs spéciaux pour l'absorption des gaz, pour le raccord de tubes bout à bout (*fig.* 13) et toute une série de manœuvres qui, finalement, ont été rendues simples, si on les compare aux opérations ordinairement nécessaires pour déterminer une densité de gaz avec une certaine exactitude.

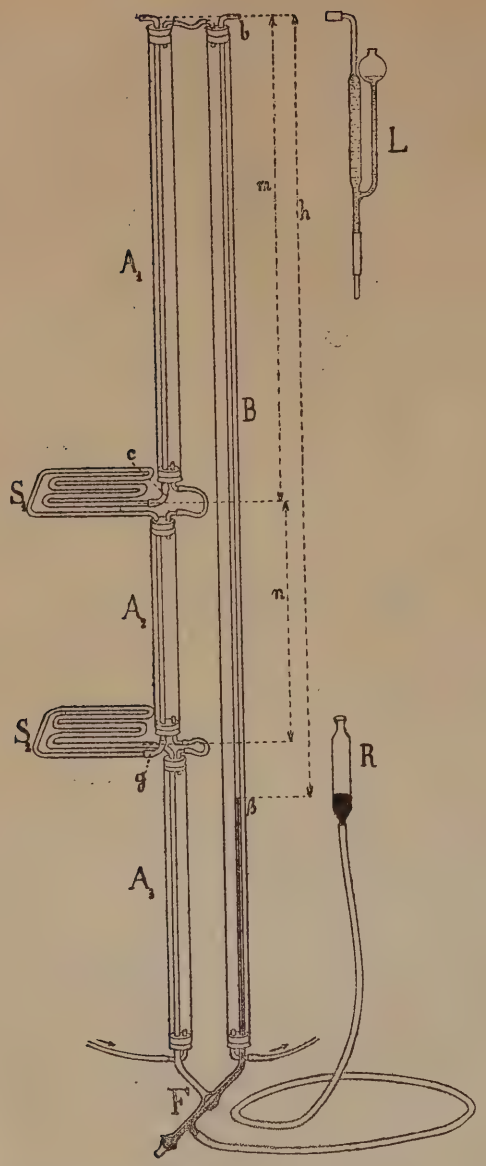
J'ai obtenu ainsi à moins de $\frac{1}{1000}$ près les densités connues de l'air, de l'azote chimique, de l'oxygène, de l'argon, du méthane, chaque détermination portant sur 5^{cm^3} ou 7^{cm^3} de gaz, ne durant que quelques minutes et se faisant sans une lecture du baromètre, sans une pesée et, pour ainsi dire, sans calcul.

L'appareil visé ci-dessus est surtout commode à employer avec l'anhydride carbonique comme gaz G_1 auxiliaire et avec la potasse comme absorbant de ce gaz. Dès lors il s'applique spécialement à la détermination des densités des gaz plus légers que l'anhydride carbonique et non absorbables par la potasse. Je l'ai modifié de manière qu'il fournisse la solution générale du problème, quelque grandes ou petites que soient les densités cherchées, que les gaz s'absorbent ou non dans la potasse ou tout autre réactif.

Le principe est toujours de superposer des colonnes gazeuses dans un appareil à deux branches de façon qu'elles se fassent équilibre et de calculer la densité d'un des gaz d'après celles des autres et d'après la hauteur des diverses colonnes. Seulement certaines des surfaces idéales de contact des gaz deux à deux sont fixées à des niveaux invariables, malgré le mouvement des gaz qui se produit pour l'établissement de l'équilibre. Dans ce but, on fait en sorte qu'elles se déplacent chacune dans un serpentin parfaitement horizontal (*fig.* 14), où la composition gazeuse peut devenir quelconque sans intervenir dans l'équilibre; une seule surface de contact se meut verticalement (il en faut au moins une se mouvant ainsi) et va s'arrêter au seul niveau qu'on ait à déterminer par une absorption unique.

La précision de cette méthode générale a été vérifiée sur l'azote chi-

Fig. 14.



Le tube A de la figure précédente est coupé en 3 tronçons, A_1, A_2, A_3, séparés deux à deux par des serpentins *horizontaux* S_1 et S_2.

On remplit B d'air, S_1 et A_2 du gaz étudié, S_2 et A_3 de CO^2; A_1 est naturellement plein d'air. On raccorde les tronçons deux à deux par les caoutchoucs c et g et l'on fait communiquer la branche A_1 A_2 A_3 avec B par F. Le mouvement des gaz a *toujours* lieu vers B.

Après l'équilibre (8 ou 10 minutes), on détermine, comme plus haut, la colonne d'air $b\beta = h$ avec l'absorbeur-manomètre L. Une relation simple entre les hauteurs m, n, h et les densités des gaz donne la densité du gaz étudié.

mique, l'air, l'anhydride carbonique, l'anhydride sulfureux, toujours avec quelques centimètres cubes de gaz seulement.

Revenant à mon point de départ, j'ai fait remarquer que l'azote, l'oxygène et l'argon, sur lesquels j'avais retrouvé à moins de $\frac{1}{1000}$ près les densités vraies, étaient des échantillons de gaz mis en œuvre dans mes essais de 1897 sur la végétation avec et sans argon et que, leur pureté ressortant de leurs densités, il y avait là une nouvelle confirmation des résultats obtenus dans ces essais.

Mesure des pressions gazeuses d'une extrême petitesse.

Le premier des deux appareils que je viens d'indiquer peut constituer un manomètre de haute précision pour la mesure de faibles pressions. Il traduit une pression correspondant à une certaine hauteur d'eau par une différence de deux niveaux qui est 1460 fois plus grande, si l'on emploie comme gaz auxiliaires l'air et l'anhydride carbonique.

Solubilité de l'anhydride carbonique dans l'acide sulfurique et l'acide phosphorique.

Au cours des recherches dont je viens de rendre compte, j'ai eu l'occasion de faire quelques mesures de l'absorption de l'anhydride carbonique dans l'acide sulfurique concentré, fait qui intéresse l'analyse organique élémentaire et qu'on paraît généralement ignorer. L'acide phosphorique sirupeux dissout aussi l'anhydride carbonique. J'ai trouvé :

Solubilité de CO^2 *à la pression de* 760^{mm}.

100^{cm^3} d'acide sulfurique, de densité 1,84, ont dissous : à 11°,3, 111^{cm^3} et, à 30°,2, 77^{cm^3}
100^{cm^3} d'ac.phosphorique, de densité 1,73, ont dissous : à 10°,7, 43^{cm^3} et, à 30°,2, 27^{cm^3}

Tout le gaz dissous s'extrait par le vide.

Dispositifs pour la mesure des gaz et spécialement des grands volumes, et pour leur transvasement dans divers cas qui se présentent.

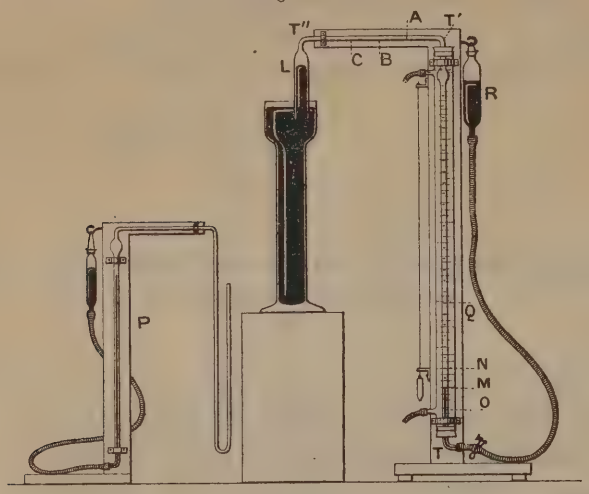
Ces dispositifs ont été décrits dans des Notes et Mémoires divers ou dans des Leçons. On peut dire, je crois, qu'ils résolvent les difficultés relatives aux transvasements et à la mesure des gaz dans la plupart des cas qui se rencontrent.

Procédé d'analyse des gaz sur de très petits volumes.

Annales de l'Institut Pasteur, 1892.

Ce procédé permet de faire une analyse exacte à 0,05 pour 100 près

Fig. 15.



TT'T'' tube capillaire soudé à un tube plus large L; TT' est un mesureur gradué dont le volume total OA est de $1^{cm^3},5$ environ; L sert à l'introduction du gaz, apporté par la pipette P, et des réactifs. Les volumes successifs du gaz sont lus entre le trait fixe A et des traits variables M, N, Q. Lors d'une lecture, le réactif, s'il y en a dans l'appareil, est entre A et B ou entre A et C dans la partie T'T'', qui est exactement *horizontale*. La pression du gaz est la même au moment de chaque lecture; les opérations durant à peine quelques minutes, la pression barométrique est constante, de même que la température si TT' est entouré d'eau. Il n'y a à lire ni baromètre, ni thermomètre.

sur 1^{cm^2} ou $1^{cm^3},5$ de gaz. Comme dans celui de MM. Bonnier et Man-

gin, les mesures se font en tubes capillaires (*fig.* 15). Mais les dispositions sont toutes différentes. La construction est assez simple pour que chacun puisse l'exécuter soi-même.

Le procédé est particulièrement commode pour les dosages courants d'acide carbonique et d'oxygène dans l'air plus ou moins altéré par un phénomène vital. Il a rendu les plus grands services dans les recherches sur la fixation de l'azote et plusieurs autres, où il fallait surveiller la composition interne des appareils par des analyses journalières, sans risquer de compromettre le succès des expériences au cas où un accident eût fait perdre l'échantillon sur lequel on opérait.

Appareils pour faciliter la lecture des tubes gradués et, en particulier, des burettes.

Mémorial des Manufactures de l'État, 1898.

Ces appareils, extrêmement simples, suppriment les erreurs tenant à ce que le rayon visuel de l'opérateur n'est pas, au moment des lectures, exactement perpendiculaire aux tubes portant les graduations. Ils obligent le rayon visuel à passer par un œilleton qui se place naturellement à la hauteur voulue. Utilisés aux lectures de burettes, ils augmentent considérablement la précision des analyses sous le rapport de la mesure des liqueurs employées et permettent parfois d'obtenir d'excellents résultats en opérant sur des volumes minimes.

Pour les lectures de colonnes mercurielles, j'emploie depuis longtemps un dispositif du même genre, avec lequel un opérateur un peu exercé réalise couramment l'approximation du vingtième de millimètre.

Sur la composition minérale de la ficoïde glaciale.

J'ai fait, pour M. H. Mangon (*Comptes rendus*, janvier 1883), l'analyse complète de la partie minérale de la ficoïde glaciale. Entre autres

particularités, j'ai trouvé que cette plante contenait une quantité de matière minérale inusitée, représentant presque la moitié de la substance sèche. De plus, la proportion d'alcali, et spécialement de soude, susceptible d'être absorbée par la plante était si élevée que M. H. Mangon a proposé d'essayer la culture de la ficoïde glaciale pour dessaler certains terrains du littoral méditerranéen.

Sur l'analyse du sesquisulfure de phosphore.

Mémorial des Manufactures de l'État, 1901.

Ce composé, découvert, comme on sait, par M. G. Lemoine et introduit dans la fabrication des allumettes par MM. Sevène et Cahen, est devenu une substance d'un intérêt industriel considérable; ce qui explique qu'on s'attache à l'analyser avec précision.

Étude sur la résistance des papiers à la rupture.

Mémorial des Manufactures de l'État (sous presse).

Cette étude montre spécialement, par des mesures précises, que l'humidité de l'air ambiant, trop souvent négligée dans les essais commerciaux, peut influer grandement sur la résistance des papiers à la rupture; en certains cas, qui se rencontrent, elle la fait varier du simple au double.

Sur les propriétés hygroscopiques de diverses matières textiles.

Comptes rendus, 17 avril 1893;

Bulletin de la Société d'Encouragement, 1893;

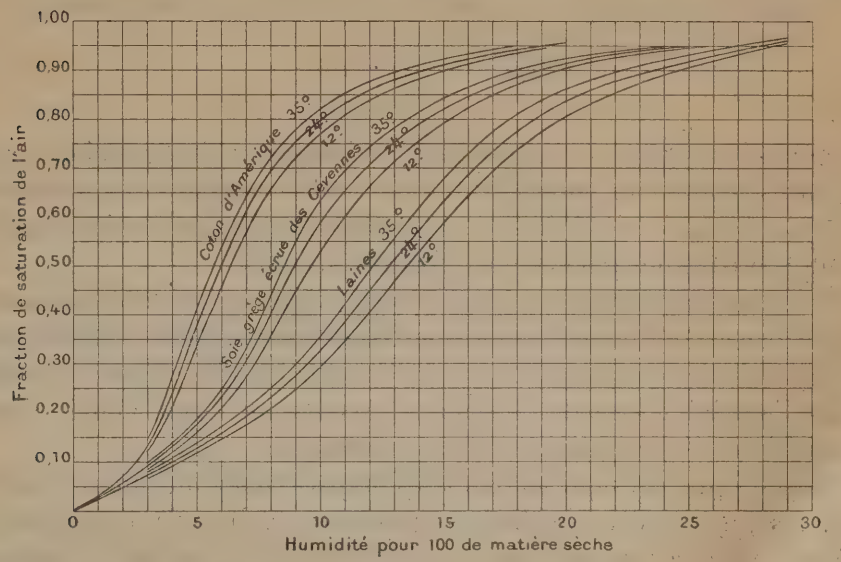
Mémorial des Manufactures de l'État, 1898.

Quand une substance hygroscopique a séjourné un temps suffisant dans une atmosphère plus ou moins humide, il existe, à chaque

température, une relation bien déterminée entre l'état hygrométrique de l'atmosphère et le taux d'humidité de la substance. J'ai déterminé cette relation avec précision, aux températures ordinaires, pour les principales matières textiles. Elle fournit des renseignements intéressant les industries et les transactions commerciales dont ces matières sont l'objet. Entre 12° et 35° (et même en dehors de ces limites), la relation n'est que peu influencée par la température; autrement dit, l'humidité prise par les matières varie avec l'état hygrométrique de l'air et reste sensiblement la même pour un état hygrométrique donné de cet air, quelle que soit la température. C'est là un fait analogue à celui qu'avaient constaté Regnault et M. E. Sorel pour les solutions plus ou moins étendues d'acide sulfurique.

Les textiles étudiés ont été les suivants : coton d'Amérique, d'Égypte

Fig. 16.



Les courbes des autres cotons et soies, non figurées pour plus de clarté, se groupent respectivement auprès des courbes relatives aux matières similaires. — Les courbes relatives aux laines étudiées se confondent. — Le lin et le chanvre (mesures exécutées par M. R. Boeswillwald) se rangent près de la soie.

et de l'Inde; soie grège ou décreusée de Chine et des Cévennes; laines de Buenos-Ayres et de Port-Philippe; lins et chanvres divers. La rela-

tion entre l'état hygrométrique de l'air et le taux pour 100 d'humidité des matières a été déterminée à 12°, à 24° et à 35°. Toutes les courbes représentant cette relation pour les différentes substances examinées ont même allure générale (*fig.* 16). Elles montrent bien, pour chaque substance, la faible influence de la température.

Il y a là une loi très générale, qui s'applique, non pas seulement aux textiles, mais à tout corps hygroscopique, et qui explique qu'on puisse réaliser, avec des cheveux, des cordes à boyau et d'autres matières encore, des hygromètres capables de fournir, à des températures variées, des indications d'une certaine exactitude.

Sur la fabrication industrielle de produits riches en nicotine pour l'horticulture et le traitement de la gale des moutons.

Comptes rendus, 7 mai 1894.

Les horticulteurs, les maraîchers, les jardiniers, font grand usage de produits nicotineux pour détruire divers insectes qui s'attaquent aux plantes. Mais ces produits ont une autre application, moins connue peut-être dans nos pays et bien plus importante.

Les immenses troupeaux de la race ovine, qu'on élève en particulier dans l'Amérique du Sud, sont fréquemment décimés par la gale. Pour combattre ce fléau, l'un des traitements les plus efficaces consiste dans l'emploi d'extraits de tabac, extraits qui sont l'objet d'une industrie et d'un commerce assez considérables.

Tous les procédés qui servent à les préparer ont pour but de concentrer les jus de tabac de diverses provenances jusqu'à l'état pâteux nécessaire à la conservation des produits. Mais ainsi ils se trouvent entachés d'un même défaut : les jus mis en œuvre offrant des teneurs variables en nicotine suivant les tabacs qui les ont fournis, les produits de la concentration ont eux-mêmes des titres en alcaloïde variables; par suite, la nicotine étant le facteur essentiel de leur efficacité, leur valeur réelle est incertaine.

J'ai institué, dans les manufactures de l'État, un procédé permettant

d'extraire à peu de frais la nicotine contenue dans les jus. Il consiste à soumettre ces jus à une distillation méthodique et à arrêter dans de l'acide sulfurique l'alcaloïde entraîné par la vapeur d'eau. On obtient ainsi des liqueurs très riches en nicotine, que leur richesse même permet d'amener, par une légère addition d'eau ou de jus, à un titre constant (par exemple 100^{g} de nicotine par litre) et qui présentent, en conséquence, une efficacité déterminée et certaine. Ces liquides se conservent indéfiniment.

Une nouvelle étude sur ces questions m'a conduit à préparer des liqueurs contenant jusqu'à 600^{g} et plus de nicotine au litre. On peut viser à cette excessive richesse pour réduire les frais de transport de l'alcaloïde dans les régions où les communications sont difficiles.

Au moyen de ces liqueurs de titre invariable, dont je viens de parler, il a été aisé d'étudier et de fixer exactement des procédés qui permettent de traiter la gale des moutons avec un succès assuré. Il suffit d'étendre les liqueurs de manière qu'elles ne renferment que $\frac{1}{1500}$ d'alcaloïde environ et d'y baigner quelques instants les animaux. Un premier bain tue les acares sans atteindre leurs œufs ; un deuxième bain, donné huit ou dix jours après, détruit la première génération d'acares sortie de ces œufs avant la formation d'œufs nouveaux et nettoie complètement les moutons.

Le produit à 100^{g} de nicotine par litre s'est rapidement implanté sur divers marchés de l'Amérique du Sud, qui consomment tout ce que la Régie française en fabrique.

Recherches sur l'industrie du tabac.

Mémorial des manufactures de l'État, 1886 et années suivantes.

Je citerai seulement les recherches suivantes.

Contribution a l'étude de la fermentation en cases du tabac rapé. — Cette étude met en évidence un exemple frappant de phénomènes dont il a été question plus haut à propos des fermentations en milieux

solides; les *transvasements* de matières qu'on opère de mois en mois et qui sont suivis d'une recrudescence de la fermentation amènent cet effet non par l'aération mais par le brassage qu'ils procurent.

Sur les pertes de nicotine a la torréfaction. — L'opération de la *torréfaction*, contrairement à ce qu'on avait parfois indiqué, n'entraîne qu'une perte insignifiante ($\frac{1}{50}$) de la nicotine, élément essentiel de la force du tabac, c'est-à-dire de son action sur l'économie.

Dosage de la nicotine dans les jus et les feuilles de tabac. — Perfectionnement de méthodes en usage.

Sur les propriétés hygroscopiques du tabac. — Ces recherches se résument par des courbes de même allure que celles qu'ont fournies les textiles.

Sur les moyens de contrôle de la production des alcools.

Rapports, 1901 et 1902.

A la suite d'un premier travail sur cette question, laquelle intéresse autant les producteurs d'alcool (bouilleurs, distillateurs) que le fisc, j'ai posé diverses conclusions, qui concernaient spécialement les compteurs alcoométriques et qu'une Commission, présidée par M. Mascart, a ensuite entièrement ratifiées.

A l'occasion d'une étude faite pour cette Commission, nous avons eu, MM. Pellat, E. Sorel et moi, à calculer, d'après une Table connue de Gay-Lussac, la valeur de contractions produites lors du mélange de liquides alcooliques de degrés variés. L'un de nous obtint, dans certain cas, une contraction négative, c'est-à-dire un accroissement de volume. Surpris d'un tel résultat, sans exemple à ma connaissance, j'ai voulu le vérifier expérimentalement.

L'expérience peut être amenée à une extrême simplicité. On superpose avec soin, dans une cloche graduée à col étroit, deux liquides

alcooliques, dont le plus lourd est naturellement au fond de la cloche et dont l'un quelconque peut être teinté par une trace d'éosine ou d'autre matière colorante, afin qu'on constate bien la séparation des deux liquides. On lit le volume total à $t°$. Puis on mélange les liquides en les agitant et l'on relit à la même température t. Ordinairement on observe une contraction. Dans certains cas, l'agitation est suivie d'un accroissement de volume, qui, moyennant les précautions convenables, se mesure avec précision; j'ai constaté un accroissement de plus de $\frac{2}{1000}$ du volume total[1] pour un mélange de 51^{vol} d'eau avec 49^{vol} d'alcool à 17°,2; l'accroissement pourrait être encore un peu plus marqué en des conditions légèrement différentes.

Il est possible de prévoir ces cas spéciaux. Si l'on construit, d'après les chiffres de Gay-Lussac, la courbe représentant les variations de la contraction, toujours positive, résultant du mélange d'eau pure avec une proportion croissante d'alcool pur, on remarque qu'elle est, dans son ensemble, convexe vers le haut; mais entre les points correspondant à 0 et 25 pour 100 d'alcool pur elle présente une légère concavité. Partant de là, on démontre facilement que le mélange de deux liquides alcooliques compris entre ces limites doit s'accompagner d'un accroissement de volume.

Je n'ai trouvé jusqu'ici que l'alcool isopropylique qui donne nettement lieu à des phénomènes analogues (la dilatation est un peu supérieure à $\frac{1}{1000}$ du volume total quand on mêle sensiblement volume à volume de l'eau et de l'alcool isopropylique étendu d'eau et contenant 21 pour 100 d'alcool).

Les faits de cet ordre intéressent les procédés employés pour la détermination de l'alcool pur dans les liquides alcooliques.

1 avec dégagement de chaleur

LISTE CHRONOLOGIQUE DES MÉMOIRES

PUBLIÉS PAR M. TH. SCHLŒSING FILS.

Propriétés hygroscopiques du tabac (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CII, p. 512).

Mémoire sur la tension de la vapeur d'eau dans le tabac (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1886).

Sur la perte de nicotine subie par le tabac dans l'opération dite *torréfaction* (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1887).

Combustion lente de certaines matières organiques (*Comptes rendus*, t. CVI, p. 1293).

Fermentation en masses du tabac pour poudre (1er Mémoire) (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1888).

Combustion lente de certaines matières organiques (*Comptes rendus*, t. CVIII, p. 527).

Fermentation en masses du tabac pour poudre (2e Mémoire) (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1889).

Sur la combustion lente du fumier et sa fermentation anaérobie (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1889).

Sur l'atmosphère contenue dans les sols agricoles (*Comptes rendus*, t. CIX, p. 618).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CIX, p. 673).

Sur la fixation de l'azote par les Légumineuses (en commun avec M. E. Laurent) (*Comptes rendus*, t. CXI, p. 750).

Mémoire sur l'atmosphère contenue dans les sols agricoles (*Annales de Chimie et de Physique*, juillet 1891).

Contribution à l'étude des fermentations du fumier (*Annales agronomiques*, 1891).

Contribution à l'étude de la fermentation en cases du tabac râpé (*Mémorial des Manufactures de l'État,* 1891).

Sur la fixation de l'azote libre par les plantes (en commun avec M. E. Laurent) (*Comptes rendus,* t. CXIII, p. 776).

Mémoire sur la fixation de l'azote libre par les plantes (en commun avec M. E. Laurent) (*Annales de l'Institut Pasteur,* février 1892).

Sur la fixation de l'azote libre par les plantes (en commun avec M. E. Laurent) (*Comptes rendus,* t. CXV, p. 659).

Même sujet (*Comptes rendus,* t. CXV, p. 732).

Mémoire sur la richesse en nicotine et la combustibilité des tabacs de diverses espèces (*Mémorial des Manufactures de l'État,* 1892).

Échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes entières et l'atmosphère (*Comptes rendus,* t. CXV, p. 881).

Même sujet (*Comptes rendus,* t. CXV, p. 1017).

Mémoire sur la fixation de l'azote libre par les plantes : 1° plantes supérieures; 2° plantes inférieures (en commun avec M. E. Laurent) (*Annales de l'Institut Pasteur,* 1893).

Propriétés hygroscopiques de plusieurs matières textiles (*Comptes rendus,* t. CXVI, p. 808).

Mémoire sur les échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes et l'atmosphère (*Annales de l'Institut Pasteur,* 1893, et *Annales agronomiques,* 1893).

Mémoire sur les propriétés hygroscopiques de plusieurs matières textiles (*Bulletin de la Société d'Encouragement,* 1893).

Échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes et l'atmosphère (*Comptes rendus,* t. CXVII, p. 756).

Sur la fabrication industrielle de produits riches en nicotine (*Comptes rendus,* t. CXVIII, p. 1053).

Contribution à l'étude de la germination (*Comptes rendus,* t. CXX, p. 1278).

Étude sur le dosage de la nicotine dans les liquides (*Mémorial des Manufactures de l'État,* 1895).

Dosage de la nicotine dans un tabac (*Mémorial des Manufactures de l'État,* 1895).

Dosage de l'argon (*Comptes rendus*, t. CXXI, p. 525).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXXI, p. 604).

Sur la composition du grisou (*Comptes rendus*, t. CXXII, p. 398).

Recherche de l'argon dans les gaz de la vessie natatoire des Poissons et des Physalies (en commun avec M. J. Richard) (*Comptes rendus*, t. CXXII, p. 615).

Étude sur l'azote et l'argon du grisou (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 233).

L'azote et l'argon dans le grisou et le gaz de Rochebelle (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 302).

Uniformité de la répartition de l'argon dans l'atmosphère (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 696).

Étude sur la composition du grisou (*Annales des Mines*, janvier 1897).

L'argon et l'azote dans le sang (en commun avec M. P. Regnard) (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 302).

Sur les fermentations en milieux composés de particules solides (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 40).

Végétation avec et sans argon (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 719).

Contribution à l'étude de la nitrification dans les sols (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 824).

Détermination de la densité des gaz sur de très petits volumes (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 220).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 476).

Détermination de la densité des gaz sur de très petits volumes; applications (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 896).

Étude sur l'acide phosphorique dissous dans les eaux du sol (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 236).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 327).

Appareil pour la lecture des burettes graduées (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1898).

Utilisation, par les plantes, de l'acide phosphorique dissous dans les eaux du sol (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 820).

Action des liqueurs acides très étendues sur les phosphates du sol (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1004).

Utilisation, par les plantes, de la potasse dissoute dans les eaux du sol (*Comptes rendus,* t. CXXX, p. 422).

Étude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol (Mémoire inséré aux *Annales de la Science agronomique française et étrangère,* 1899).

Même sujet (*Annales du Conservatoire des Arts et Métiers,* 1900).

Sur les échanges gazeux entre les plantes entières et l'atmosphère (*Comptes rendus,* t. CXXXI, p. 716).

Sur l'acide phosphorique des sols (*Comptes rendus,* t. CXXXII, p. 1189).

Étude sur l'analyse du sesquisulfure de phosphore employé à la fabrication des allumettes (*Mémorial des Manufactures de l'État,* 1901).

Contribution à l'étude de l'alimentation des plantes en phosphore (*Comptes rendus,* t. CXXXIV, p. 53).

Sur les phosphates du sol solubles à l'eau (*Comptes rendus,* t. CXXXIV, p. 1383).

Étude sur la résistance des papiers à la rupture; influence de l'humidité (*Mémorial des Manufactures de l'État,* sous presse).

AUTRES TRAVAUX.

Rédaction de trois Ouvrages de M. Schlœsing père : 1° *Leçons de chimie agricole,* professées à l'École d'application des Manufactures de l'État, 1883; 2° *Leçons de chimie analytique,* professées à la même École, 1882-1884; 3° *Contribution à l'étude de la chimie agricole* (Encyclopédie Frémy, 1885).

Principes de chimie agricole, 2e édition, 1897 (Ouvrage de l'Encyclopédie Léauté, traduit en polonais).

Rapport sur des moyens de contrôler la production des alcools (1901).

Rapport sur les compteurs d'alcool (1902).

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
32967 Quai des Grands-Augustins, 55.

ΑΕΙ Ο ΘΕΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΕΙ